



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht/Jahresbericht 28. Juli 2014

Abschätzung des hygienischen Risikos im Zusammenhang mit der Anwendung von flüssigem Gärgut in der Schweiz

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm 8100071
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Bundesamt für Landwirtschaft BLW
CH-3003 Bern

Bundesamt für Umwelt BAFU
CH-3003 Bern

Bundesamt für Veterinärwesen BVET
CH-3003 Bern

Auftragnehmer:

Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL)
Ackerstrasse 113, Postfach 219
5070 Frick, Schweiz FiBL
www.fibl.org

Autoren:

Jacques Fuchs, FiBL (Frick-CH), jacques.fuchs@fibl.org
Urs Baier, ZHAW (Wädenswil-CH), burs@zhaw.ch
Alfred Berner, FiBL (Frick-CH), alfred.berner@fibl.org
Werner Philipp, Universität Hohenheim (Stuttgart-D), werner.philipp@uni-hohenheim.de
Konrad Schleiss, UMWEKO (Grenchen-CH), k.schleiss@bluewin.ch

BFE-Bereichsleiter: Sandra Hermle

BFE-Programmleiter: Sandra Hermle

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500814-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Abschätzung des hygienischen Risikos im Zusammenhang mit der Anwendung von flüssigem Gärgut in der Schweiz

Schlussbericht



Jacques Fuchs, FiBL (Frick-CH)

In Zusammenarbeit mit

Urs Baier, ZHAW (Wädenswil- CH)

Alfred Berner, FiBL (Frick-CH)

Werner Philipp, Universität Hohenheim (Stuttgart-D)

Konrad Schleiss, UMWEKO (Grenchen-CH)

28. Juli 2014

Projektförderung: Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bundesamt für Energie (BFE), Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Bundesamt für Veterinärwesen (BVET).

EXCELLENCE FOR SUSTAINABILITY

Das FiBL hat Standorte in der Schweiz, Deutschland und Österreich
 FiBL offices located in Switzerland, Germany and Austria
 FiBL est basé en Suisse, Allemagne et Autriche

FiBL Schweiz / Suisse
 Ackerstrasse, CH-5070 Frick
 Tel. +41 (0)62 865 72 72
 info.suisse@fibl.org, www.fibl.org

Abschätzung des hygienischen Risikos im Zusammenhang mit der Anwendung von flüssigem Gärgut in der Schweiz

Kurzbeschreibung

Ziel dieses Projektes war es, eine Charakterisierung des seuchenhygienischen Zustandes von flüssigem Gärgut aus Schweizer Vergärungsanlagen in Relation zu den Ausgangsmaterialien und zu den angewandten Techniken der Vorbehandlung, der anaeroben Vergärung und der Nachbehandlung durchzuführen.

Drei Probenahmekampagnen wurden durchgeführt: im Winter 2012-2013, im Frühling 2013 und im Sommer 2013. Dabei wurden repräsentative thermophile und mesophile Vergärungsanlagen detailliert untersucht. Die verschiedenen Ausgangsmaterialien sowie Gärgut in verschiedenen Prozessstufen wurden auf die Leitkeime Salmonellen, Coliforme, *E. coli*, Enterokokken und teilweise *Campylobacter* untersucht.

Die Inputmaterialien mit dem grössten Erregerbesatz sind Grüngut und Panseninhalt. Eher gering belastet sind dagegen Milch- und VTNP-Produkte. Eine grosse Variation innerhalb der Produktkategorien ist jedoch zu beobachten.

Salmonellen konnten in den Inputmaterialien der Biogasanlagen nur sehr vereinzelt und in geringen Konzentrationen nachgewiesen werden. Ein erhöhtes Vorkommen in VTNP-Materialien war nicht vorhanden. Sowohl coliforme Keime, *E. coli* als auch Enterokokken wurden in den meisten Inputmaterialien in mittleren Konzentrationen nachgewiesen. *Campylobacter* spp. konnte in keinem der Inputmaterialien nachgewiesen werden.

Salmonellen und *E. coli* können in den thermophilen Anlagen effizient und auf nicht mehr nachweisbare Niveaus eliminiert werden. Enterokokken werden in thermophilen Vergärungen stark reduziert aber nicht vollständig eliminiert.

Die Behandlungsprozesse in mesophilen Anlagen haben nur einen geringfügigen Einfluss auf die Mengen der untersuchten Keime. Die Quantität an *E. coli* wurde reduziert, es waren aber immer noch bedeutende Mengen in den Endprodukten zu finden. Es konnte keine Vermehrung der untersuchten Keime während des mesophilen Prozesses beobachtet werden.

Es ist davon abzuraten, Gärgut aus mesophilen Anlagen direkt oder nach Lagerung in Kulturen anzuwenden, welche roh verzehrt werden. Prinzipiell ist bei der Verwertung von mesophilem Gärgut im Gemüsebau grosse Vorsicht geboten. Für diese Kulturen scheint flüssiges Gärgut aus thermophilen Anlagen aus hygienischer Sicht unproblematisch zu sein, vorausgesetzt, dass die Prozessführung der Anlage der guten fachlichen Praxis entspricht. Für die anderen Kulturen kann auch mesophiles Gärgut angewendet werden, wobei die gleichen Anwendungsempfehlungen wie für Gülle einzuhalten sind.

Abschätzung des hygienischen Risikos im Zusammenhang mit der Anwendung von flüssigem Gärgut in der Schweiz

1. Einleitung

Um eine problemlose Anwendung von flüssigem Gärgut im Pflanzenbau zu garantieren/sicherzustellen ist die hygienische Unbedenklichkeit der Produkte entscheidend. Aus menschlicher Sicht haben dabei Bakterien wie Salmonellen, *E. coli* und *Campylobacter* spp. eine grosse Bedeutung. Der Vergärungsprozess spielt dabei sicher eine wichtige Rolle. So hatte Ade-Kappellmann (2008) gezeigt, dass die mesophilen Anlagen, im Gegensatz zu den thermophilen Anlagen, diese Keime nicht vollständig inaktivieren können; die Pasteurisierung des Materials könnte jedoch die Keime eliminieren. Bei thermophilen Anlagen ist es ausserdem nötig, die benötigte Aufenthaltszeit genau einzuhalten, um die Unbedenklichkeit der Endprodukte zu sichern. Auf gleiche Ergebnisse sind auch Marcinišyn et al. (2003) gekommen.

In den Ergebnissen von Hoedemaker et al. (2014) findet man jedoch keine Hinweise für eine Anreicherung potenziell pathogener Keime während des Fermentationsprozesses, auch wenn solche Keime im Gärgut zu finden waren. Nach Reinhold und Jahn (2004) ist sogar eine klare Keimreduktion bei mesophilen Vergärungsanlagen zu beobachten.

Die hygienische Qualität der Endprodukte aus einer Vergärungsanlage hängt nicht nur mit dem Anlagentyp, sondern auch mit der Führung der Anlage (Prozessführung, Ordnung auf dem Betrieb, etc.) zusammen. In Deutschland verlangt die „Gütegemeinschaft Gärprodukte e.V.“ eine regelmässige Untersuchung der Salmonellen und *E. coli* in den Gärprodukten, wie dies auch von der „Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.“ bei Komposten verlangt wird. Die Gärprodukte müssen dabei den Normen der EU Verordnung Nr. 142/2011 (siehe Kap. 4.1) entsprechen. In seinem Hygienepapier (Anonym, 2014) bestätigt der Fachverband Biogas e.V., dass die in Deutschland ausgebrachten Gärprodukte hygienisch einwandfrei sind. Es ist aber zu erwähnen, dass eine Pasteurisierung aller Substrate mit Gefahrenpotential (Speisereste, Biotonneninhalte, überlagerte Lebensmittel) in mesophilen Anlagen Pflicht ist. Nach Philipp und Hölzle (2012) sollten alle Gärprodukten aus mesophilen Vergärungsanlagen einer hygienisierenden Behandlung unterzogen werden. Die Pasteurisierung ist zwar eine effiziente Methode um Keime zu inaktivieren; eine Rekontamination der pasteurisierten Produkte mit pathogenen Bakterien ist aber möglich (Bagge et al., 2005). Nach Paavola and Rintala (2008) wird jedoch eine Abnahme der Keime während der Lagerung des Gärguts festgestellt.

In der Schweiz sind routinemässige Analysen der Keime weder bei Komposten noch bei Gärgut vorgesehen, da man die hygienische Unbedenklichkeit durch Prozessvalidierung sichert (unter anderem mit Kontrollen der Prozesstemperaturen und wenn nötig

Pasteurisierung der risikoreichen Inputmaterialien). Eine Überwachung des effektiven hygienischen Zustands der Gärprodukte wurde in der Schweiz bis jetzt nicht durchgeführt. Ziel dieses Projektes war es, eine Charakterisierung des seuchenhygienischen Zustandes von flüssigem Gärgut aus Schweizer Vergärungsanlagen in Relation zu den Ausgangsmaterialien und zu den angewandten Techniken der Vorbehandlung, der anaeroben Vergärung und der Nachbehandlung durchzuführen.

Drei Probenahmekampagnen wurden durchgeführt: die erste im Winter 2012-2013 (15. und 28. November 2012), die zweite im Frühling 2013 (16. April und 6. Mai 2013) und die dritte im Sommer 2013 (10. und 22. September 2013). Dabei wurden 19 repräsentative Vergärungsanlagen detailliert untersucht: fünf thermophile, zwölf mesophile und zwei gemischte Vergärungsanlagen. Insgesamt wurden über ein Dutzend verschiedene Ausgangsmaterialien sowie Gärgut in verschiedenen Prozessstufen auf die Leitkeime Salmonellen, Coliforme, *E. coli*, Enterokokken und teilweise *Campylobacter* untersucht.

2. Methoden

2.1. Wahl der Vergärungsanlagen

Die Vergärungsanlagen wurden so gewählt, dass die meisten schweizerischen Situationen in Bezug auf Inputmaterialien und Prozessführungen repräsentiert wurden. Die Kriterien, die dabei berücksichtigt wurden, waren: Vergärungssystem, Vergärungstemperatur, Inputmaterialien, geografische Lage. Die Anlagen mit ihren Kriterien sowie die beprobten Inputstoffe sind in Tabelle 1 dargestellt.

Jede Anlage wurde gemäss ihren Eigenschaften beprobt, sodass alle relevanten Ausgangsmaterialien und Prozessstufen charakterisiert wurden. Je nach Homogenität der beprobten Stoffe wurden 2 bis 3 Wiederholungen durchgeführt. Pro Probe (alles Inputmaterialien und Gärgutstoffen) wurden 500 ml des Materials in eine 1-Liter Flasche aus Polyethylen entnommen. Am folgenden Tag wurden die gekühlt gelagerten Probeflaschen zur Fachgruppe Umwelt- und Tierhygiene der Universität Hohenheim (Dr. Werner Philipp) gebracht, wo sie untersucht wurden.

Das Vorkommen von Salmonellen, coliformen Keimen, *Escherichia coli* und Enterokokken wurde dabei analysiert. Aus technischen Gründen konnte bei der ersten Probenkampagne das Vorkommen der weniger aussagekräftigen *Campylobacter* nur stichartig durchgeführt werden. Bei der zweiten und der dritten Probenkampagne wurden mehr als 120 Proben, repräsentativ für alle Probenkategorien, auf die Präsenz von *Campylobacter* spp. untersucht.

Tab. 1. Grobbeschreibung der untersuchten Vergärungsanlagen

Anlage Nr.	Kanton	Prozess-temperatur (T: thermophil M: mesophil)	Vergärungs-technik (P: Pfropfstrom B: Box F: flüssige Vergärung)	Inputstoffe												
				Grüntour mit Speise- resten städtisch	Grüntour mit Speise- resten rural	Gt ohne Speise- resten	Gastro	VTNP	Fisch	Eier-schalen	Rindergülle	Schweine-gülle	Fett-schlamm	Pansen	Milch	Blut
01	SO	T	P (Kompogas)	X	X	X			X					X	X	
02	BL	T	P (Kompogas)		X	X	X	X						X		
03	VD	T	P (Kompogas)	X	X	X		X					X		X	
04	BL	(T +) M	F (Eisenmann)			X		X			X					
05	ZH	T	P (Kompogas)	X	X		X									
07	VD	T	P (Kompogas)	X	X	X	X									
08	LU	T + M	P + F	X	X	X	X				X	X	X		X	
09	BE	T + M	B		X	X										
10	SZ	M	F				X	X			X	X	X	X		X
11	SZ	M	F			X		X				X	X		X	X
12	GE	M	F	X	X		X	X					X			
13	AG	M	F		X	X					X	X				
14	SG	M	F		X	X					X	X				
15	AR	M	F				X				X	X	X			
16	BE	M	F				X	X			X	X	X			
17	VD	M	F				X				X	X				
18	ZG	M	F				X				X	X	X			
19	FR	M + T	F					X			X	X	X	X	X	
20	AG	M	F				X				X	X				
21	ZG	M	B	X	X		X									

2.2. Isolation von Bakterien

Bakterien können grundsätzlich mit zwei Methoden gezählt werden. Entweder durch die Bestimmung der Partikelzahl bzw. –masse oder im einfacheren Fall durch ihre Vermehrungsfähigkeit, die sog. „Lebendzellzahlbestimmung“ (VCC, Viable Cell Count) z.B. in klassischen Oberflächenverfahren (Ausplattieren auf Agarmedien). Bei dem sog. „Oberflächenverfahren“ wurde zur quantitativen Untersuchung einer Probe als erster Schritt eine dekadische Verdünnungsreihe benötigt. Hierzu wurden 10 (20) ml bzw. g des Probenmaterials in 90 (180) ml einer sterilen physiologischen (0,9%ig) Kochsalzlösung eingewogen bzw. pipettiert und über Nacht im Kühlraum bei +6°C (+/-2°C) auf den Schüttler gestellt. Aus dieser ersten Verdünnungsstufe (10^{-1}) wurde eine dekadische Verdünnungsreihe angefertigt in dem 1 ml der Vorverdünnung in 9 ml sterile 0,9%ige Kochsalzlösung pipettiert und anschließend auf dem Reagenzglasschüttler vermischt wurde. Aus dieser zweiten Verdünnungsstufe (10^{-2}) wurde wiederum 1 ml in 9 ml sterile 0,9%ige Kochsalzlösung pipettiert um die dritte Verdünnungsstufe (10^{-3}) zu erhalten. Diesem Prinzip folgend wurden die Proben weiter herunterverdünnt bis die gewünschte Endverdünnungsstufe erreicht war.

Die VCC-Methode (viable cell count) weist die Zahl der lebenden oder vermehrungsfähigen Mikroorganismen nach. Diese können unter günstigen Wachstumsverhältnissen in oder auf einem Agar Kolonien ausbilden. Nach der Inkubation werden die Anzahl der ausgewachsenen Kolonien und damit zugleich die Zahl der vermehrungsfähigen Mikroorganismen bestimmt. Dieses Ergebnis gilt als die Zahl der koloniebildenden Einheiten (KBE).

2.3. Nachweis der Salmonellen

Qualitativ

Es werden 50 g aus den jeweiligen Ansätzen entnommen und in 450 ml gepuffertes Peptonwasser eingewogen und 20-24 h bei 37 °C bebrütet. Danach werden jeweils 0,1 ml aus der gut durchmischten Voranreicherung in 10 ml Anreicherungsbouillon nach Rappaport überführt und bei 37 °C und bei 43 °C über 22-24 Stunden inkubiert. Anschliessend erfolgen mittels der 3mm(10µl)-Öse Parallelausstriche auf Brillantgrün-Phenolrot-Saccharose-Agar (BPLSA) und Xylose-Lysin-Desoxycholat-Agar (XLD), die bei 37 °C über 22-24 Stunden inkubiert werden. Salmonellenverdächtige Kolonien werden auf Standard I-Agar überimpft und bei 37 °C zwischen 22-24 Stunden inkubiert. Die Identifizierung erfolgt biochemisch und serologisch aufgrund der Körper- und Geisselantigene (O- und H-Antigene).

Quantitativ

Dieser Nachweis wird mit Hilfe des Most-Probable-Number(MPN)-Verfahrens geführt. Aus den hergestellten Verdünnungsstufen wird dreimal 1 ml in je 9 ml Peptonwasser angereichert. Nach einer Inkubation von 22-24 h bei 37 °C werden aus dieser Voranreicherung je 0,1 ml in drei parallelen Ansätzen in Röhrchen mit je 10 ml Rappaport-

Vassiliadis-Selektivbouillon überimpft. Nach einer Inkubation von 22-24 h bei 37 °C wurden Ausstriche auf XLD- und BPLS-Agar angefertigt.

2.4. Quantitativer Nachweis von coliformen Bakterien bzw. *E. coli*

Zur Vorverdünnung werden 20 g Probenmaterial in 180 ml Natriumchlorid (0,9%ige Kochsalzlösung) eingewogen um anschliessend das „Most-Propable-Number“(MPN)-Verfahren (Sutton, 2010) anzuwenden. Dazu wird eine Verdünnungsreihe (1 ml der Vorverdünnung in 9 ml 0,9%ige NaCl-Lösung) in geometrischer Reihe bis zur Verdünnungsstufe 10⁻⁶ bzw. 10⁻⁷ angesetzt. Danach erfolgt zur Anreicherung aus jeder Verdünnungsstufe die Überimpfung von je 1 ml in drei parallele Röhrchen MacConkey-Bouillon. Die beimpften Proben werden dann bei 37 °C und bei 43 °C für 24 h inkubiert. Nach 24-stündiger Inkubation erfolgt der Nachweis des Wachstums von coliformen Bakterien bzw. *E. coli* durch fraktioniertes Ausstreichen auf MacConkey-Agar. Dieser wird anschliessend bei 37 °C für 24 h bebrütet. Verdächtige Kolonien werden durch den Cytochromoxidase-Test bestätigt. Die Auswertung erfolgt mit Hilfe der MPN-Tabelle nach DE MAN (1983).

2.5. Quantitativer Nachweis von Enterokokken (Fäkalstreptokokken)

Der Nachweis der Enterokokken erfolgt quantitativ mit Hilfe des MPN-Verfahrens. Dazu wird aus der Verdünnungsreihe, wie in Pkt. 2.3 beschrieben, jeweils 1 ml jeder Verdünnungsstufe in drei parallele Röhrchen Azid-Glukose (AD)-Bouillon à 9 ml überimpft und bei 37 °C für 48 h inkubiert.

Danach wird die bebrütete AD-Bouillon auf Kanamycin-Äsculin-Azid-Agar (KAA-Agar), ausgestrichen (die Platten sind in drei Teile unterteilt) und anschliessend 48 h/37°C, bei schwachem Wachstum 72 h/37° C, inkubiert. Stichprobenweise erfolgt die Anfertigung von Reinkulturen und Agglutination mit Phadebact Strep D-Test. Die Anzahl der im Grenzbereich des Wachstums nachweisbaren positiven Parallelansätze von drei aufeinanderfolgenden Verdünnungsstufen werden zum Erstellen eines 3-stelligen MPN-Codes herangezogen.

Die Auswertung erfolgt ebenfalls anhand der korrigierten MPN-Tabelle nach DE MAN (1983).

2.6. Nachweis von *Campylobacter jejuni*

Der Nachweis der *Campylobacter* spp. erfolgt ebenfalls quantitativ mit Hilfe des MPN-Verfahrens. Dazu wird aus der Verdünnungsreihe, wie in Pkt. 2.3 beschrieben, jeweils 1 ml aus der Suspension entnommen und in die drei parallel angelegten Reagenzgläser mit je 9 ml Preston-Anreicherungsbouillon überimpft. Um die mikroaerophilen Bedingungen zu erreichen, werden die Proben in einen Anaerobtopf unter Zugabe von einem Anaerocult® C-Beutel gestellt. Dieser Beutel wird mit 6 ml Wasser befeuchtet. Es folgt die mikroaerophile Bebrütung über 48 h bei 43 °C.

Gewinnung von Reinkulturen

Aus jedem Röhrchen mit Preston-Anreicherungsbouillon werden 0,1 ml entnommen und auf den Cellulose-Nitrat-Filtern, die den Agarplatten aufliegen, mit Hilfe einer Pipette vorsichtig verteilt. Diese Agarplatten werden 2 h mikroaerophil bei 37 °C inkubiert. Danach werden die Filter mit einer sterilen Pinzette entfernt und weitere 48 h bei 43 °C mikroaerophil bebrütet.

Identifizierung der Kolonien

Die *Campylobacter jejuni*-Kolonien werden durch die Beweglichkeit der gewachsenen Kolonien mit einem Mikroskop und durch den Cytochromoxydase- und Katalase-Test nachgewiesen.

Auswertung der Ergebnisse

Mit Hilfe der DE MAN-Tabelle (1983) wird das Ergebnis ausgewertet und als Nachweis von *Campylobacter jejuni* in 1 ml der Probe dargestellt.

Tab. 2. Abkürzungen, die für die verschiedenen Proben angewendet worden sind.					
Reine Inputmaterialien		Gemischte Inputmaterialien		Ausgangsprodukten	
Ia	Grüngut mit Speiseresten, städtisch	Lfe	aus Lager Festmaterialen	F	nach Fermenter
Ib	Grüngut mit Speiseresten, ländlich	Lfl	aus Lager Flüssigkeiten	N	im Nachgärer
Ic	Grüngut ohne Speiseresten	Gü	aus Güllegrube	Tfl	flüssiger Anteil nach Gärguttrennung
Id	Gastroabfälle	V	nach Vorbehandlung	Tfe	fester Anteil nach Gärguttrennung
Ie	VTNP-Produkte	M	aus Mischer (Behälter, in welchem die Inputstoffen vor Einfuhr ins Fermenter gemischt werden)	Efl	Endlager flüssig
If	Fischabfälle			Efe	Endlager fest
Ig	Eiabfälle				
Ih	Rindergülle				
Ii	Schweinegülle				
Ij	Fettschlamm				
Ik	Panseninhalt				
Il	Milch				
Im	Blut				
In	verschiedenes				

3. Ergebnisse

Die Anlagebeschreibungen sowie die Erregerisolationen pro Anlage sind im Anhang präsentiert. Es war nicht immer möglich, bei jeder Probenahmekampagne alle Materialien zu beproben, da nicht immer alle verfügbar waren. Dies erklärt, warum bei den Anlagen zum Teil unterschiedliche Materialien in den drei verschiedenen Probenahmekampagnen untersucht wurden.

Um die Darstellung der Ergebnisse zu vereinfachen, wurde der Wert 0 für die Proben gesetzt, welche Bakterienmengen unter der Nachweisgrenze enthielten.

In keiner der 120 untersuchten Proben, repräsentativ für alle Produktkategorien, konnte *Campylobacter* spp. nachgewiesen werden.

3.1. Organismen in den Ausgangsmaterialien

Soweit als möglich wurden die einzelnen Materialien separat beprobt, sowie falls vorhanden die Materialien aus dem Lager für flüssige und feste Eingangsmaterialien und der Mischer, aus welchem der Fermenter gespeist wird. Diese drei letzten Proben enthalten Mischungen aus mehreren Eingangsmaterialien.

Die Mehrheit der Ausgangsmaterialienproben war frei von Salmonellen (Fig. 1) oder enthielt nur sehr wenige davon (Fig. 2). Festes Grüngut mit Speiseresten aus ländlichem Ursprung (Ib) sowie festes Grüngut ohne Speisereste (Ic), Schweinegülle (Ii), Fettschlämme (Ij), Gülle in Güllegruben (Gü) und Material im Mischer (M) enthielten am häufigsten Salmonellen, jedoch nur in relativ kleiner Anzahl.

E. coli war in mehr als der Hälfte aller Proben zu finden (Fig. 1). Relativ grosse Variationen zwischen den Proben einzelner Produkten waren zu beobachten (Fig. 1 und 2). Erstaunlicherweise war das ländliche Grüngutmaterial am meisten mit *E. coli* durchsetzt. Wegen der grossen Streuungen innerhalb der verschiedenen Produkte wurden jedoch kaum signifikante Unterschiede zwischen den Eingangsmaterialien festgestellt.

Coliforme Keime und Enterokokken waren allgemein in relativ hoher Anzahl in beinahe allen Proben zu finden (Fig. 1 und 2). Die Ergebnisse der Isolationen von coliformen Keimen ergaben ein ähnliches Bild wie bei *E. coli* (Fig. 1 und 2): zum Teil sehr grosse Variationen innerhalb eines Produkts, und am meisten Keime im Grüngut, sowie im Panseninhalt und in den Fischabfällen. Die Daten von Enterokokken streuten weniger (Fig. 2). Am meisten Enterokokken wurden im Grüngut und im Panseninhalt gefunden (Fig. 1 und 2).

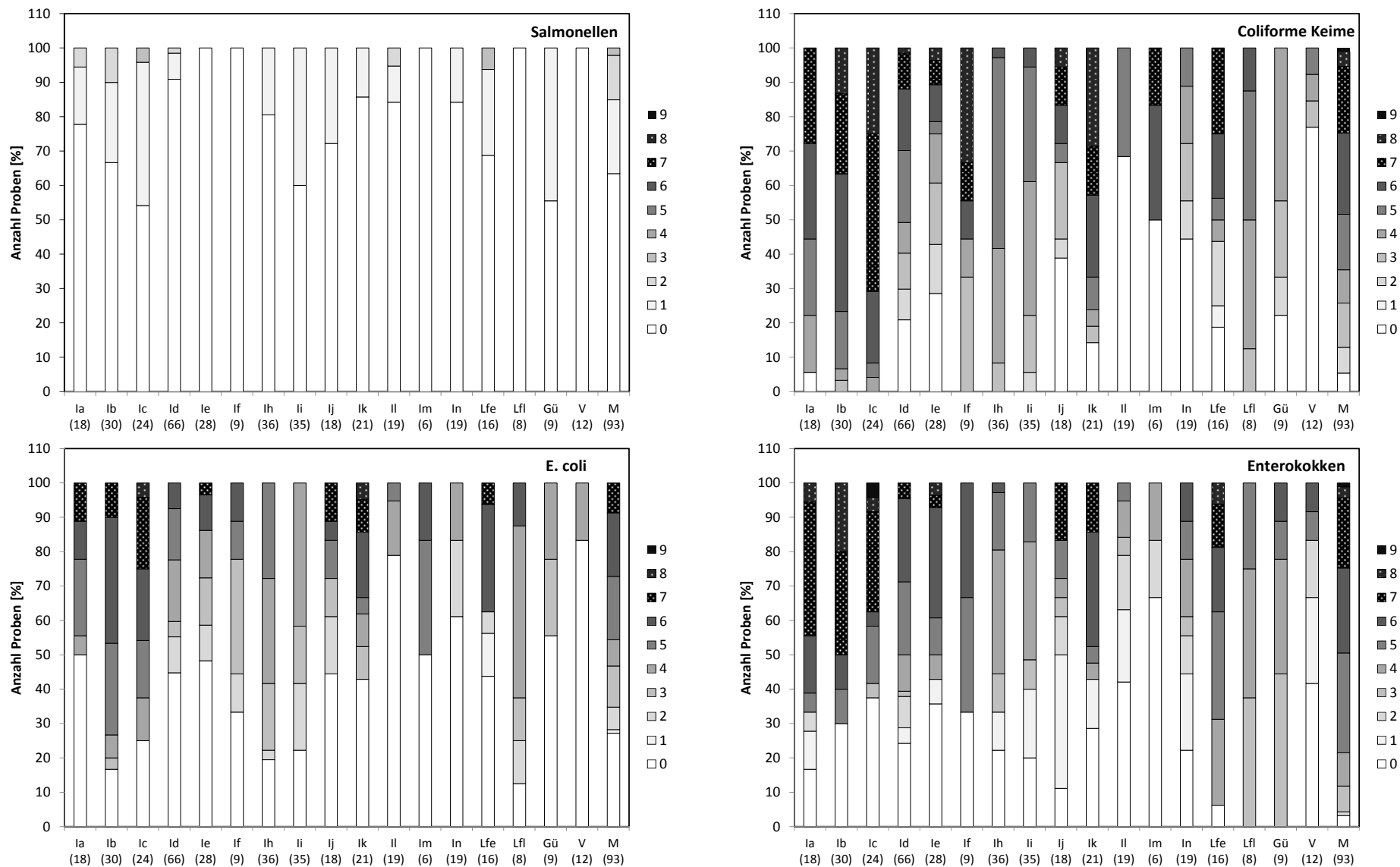


Fig. 1. Belastung von Ausgangsmaterialien der Vergärungsanlagen in der Schweiz mit potentiellen Krankheitserregern.

Abkürzungen: siehe Tab. 2. Die Probenanzahl pro Produktkategorie ist in Klammern angegeben.

Klassen: 0: nicht nachweisbar; 1: < 100 Keime/ml; 2: 10^2 – 10^3 Keime/ml; 3: 10^3 – 10^4 Keime/ml; 4: 10^4 – 10^5 Keime/ml; 5: 10^5 – 10^6 Keime/ml; 6: 10^6 – 10^7 Keime/ml; 7: 10^7 – 10^8 Keime/ml; 8: 10^8 – 10^9 Keime/ml; 9: $>10^9$ Keime/ml.

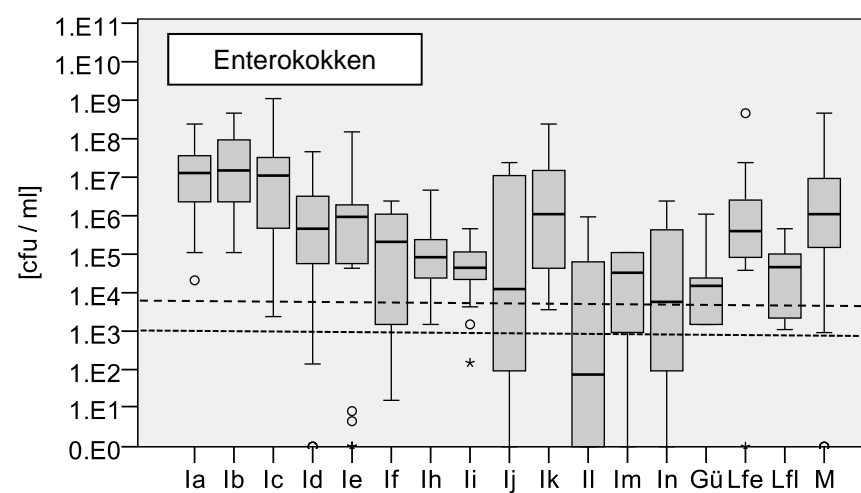
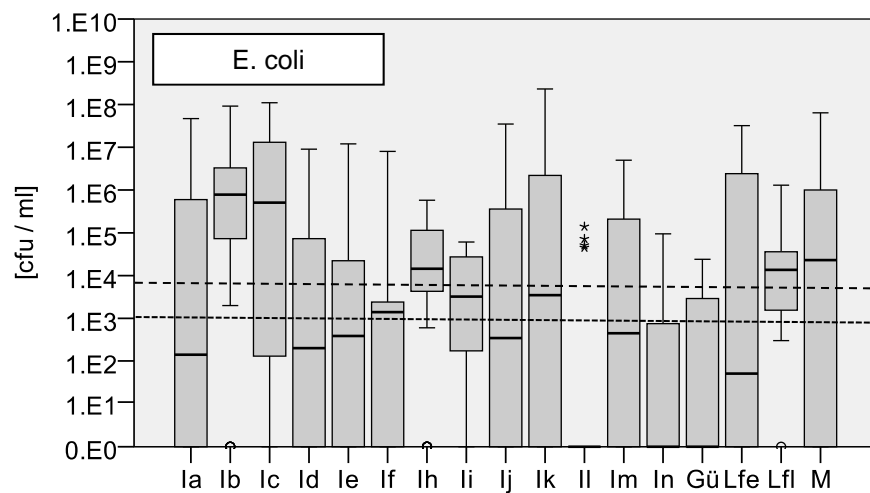
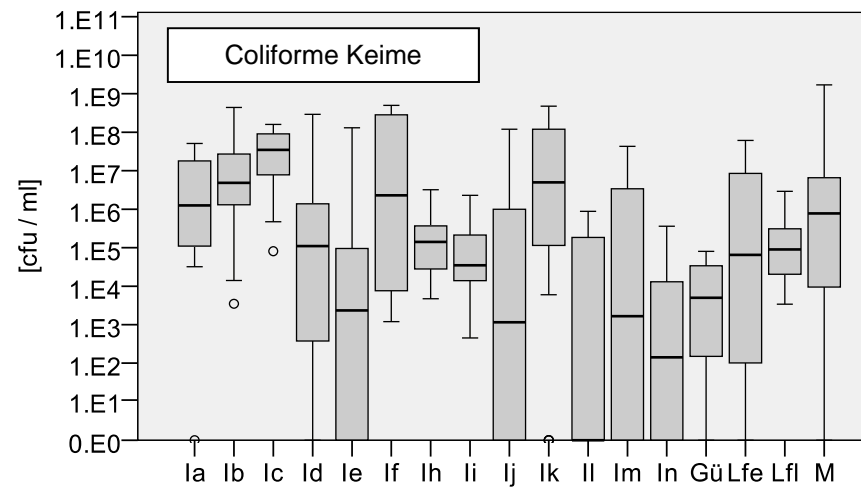
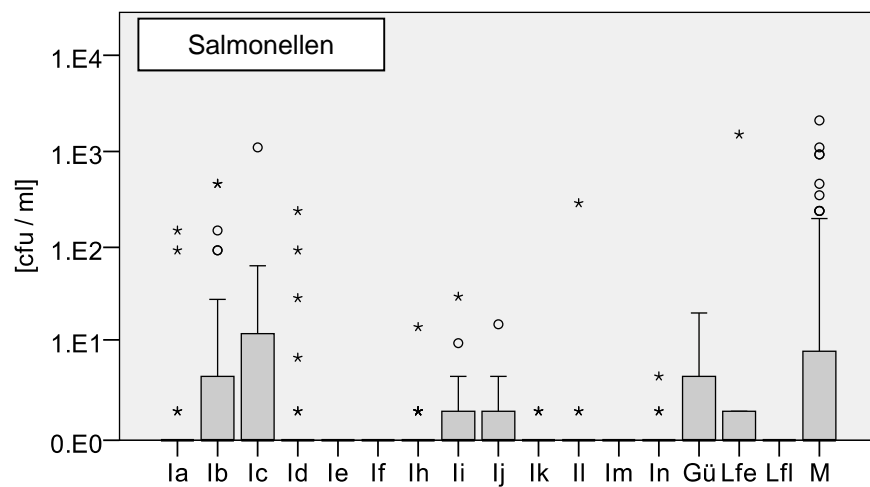


Fig. 2. Anzahl an potentiellen Krankheitserreger in Ausgangsmaterialien von Vergärungsanlagen in der Schweiz.
Abkürzungen: siehe Tab. 2. Normen der Verordnung (EU) Nr. 142/2011: ----- Schwellenwert, ---- : Höchstwert.

3.2. Organismen in den verschiedenen Prozessstufen bei thermophilen Anlagen

Nach der thermophilen Fermentation sind kaum mehr Salmonellen zu finden. Lediglich bei einer Anlage (A-04) konnte in einer Probekampagne nach dem Fermenter sowie in zwei Proben von flüssigen Anteilen nach der Gärguttrennung eine kleinere Menge an Salmonellen isoliert werden (Fig. 3 und 4).

Ebenfalls findet durch die thermophile Fermentation eine sehr starke Reduktion von *E. coli* statt (Fig. 3 und 4). *E. coli* wird durch die thermophile Vergärung praktisch eliminiert und nach dem Fermenter nur in drei Anlagen gefunden (A-02, A-04 und A-07), und auch da nicht bei jeder Probekampagne (Fig. 3 und 4).

Die Populationen an coliformen Keimen wurden durch den thermophilen Prozess nur leicht reduziert (Fig. 3 und 4). Vor allem im festen Gärgut (nach der Trennung) wurden weiterhin hohe Populationen dieser Keime gefunden.

Die Gesamtmengen an Enterokokken wurden durch den thermophilen Prozess ebenfalls deutlich reduziert, und zwar um einen Faktor 1000 (Fig. 3 und 4). Die Reduktion ist aber im Gegensatz zu Salmonellen oder *E. coli* nicht vollständig, auch wenn einige wenige, vereinzelte Proben mit Populationen in einer Grössenordnung von $10^3 - 10^4$ Keimen pro ml gefunden wurden.

3.3. Organismen in den verschiedenen Prozessstufen bei mesophilen Anlagen

Allgemein war die Keimreduktion in den mesophilen Anlagen nur sehr gering (Fig. 5 und 6). Für Salmonellen und für *E. coli* kann eine leichte Abreicherung durch die mesophile Vergärung um ein bis zwei Zehnerpotenzen nachgewiesen werden (Fig. 5 und 6 und einzelnen Anlagen im Anhang). Für coliforme Keime und für Enterokokken ist keine Abreicherung durch den mesophilen Prozess nachweisbar.

3.4. Einfluss der Prozesstemperatur auf den Besatz der Proben an pathogenen Keimen

Wie in den Kapiteln 3.2 und 3.3 ersichtlich, sind die Populationen an pathogenen Keimen in den Produkten nach einer thermophilen Vergärung geringer. Dies ist besonders bei den Salmonellen und *E. coli* sichtbar. Nach einem thermophilen Prozess konnten nur in einer Anlage und einer Kampagne Salmonellen gefunden werden, während dieser Erreger im Durchschnitt in 40% der mesophilen Anlagen nach dem Fermenter zu finden war (Tab. 3). Ein ähnliches Bild ist bei *E. coli* zu beobachten (Tab. 3).

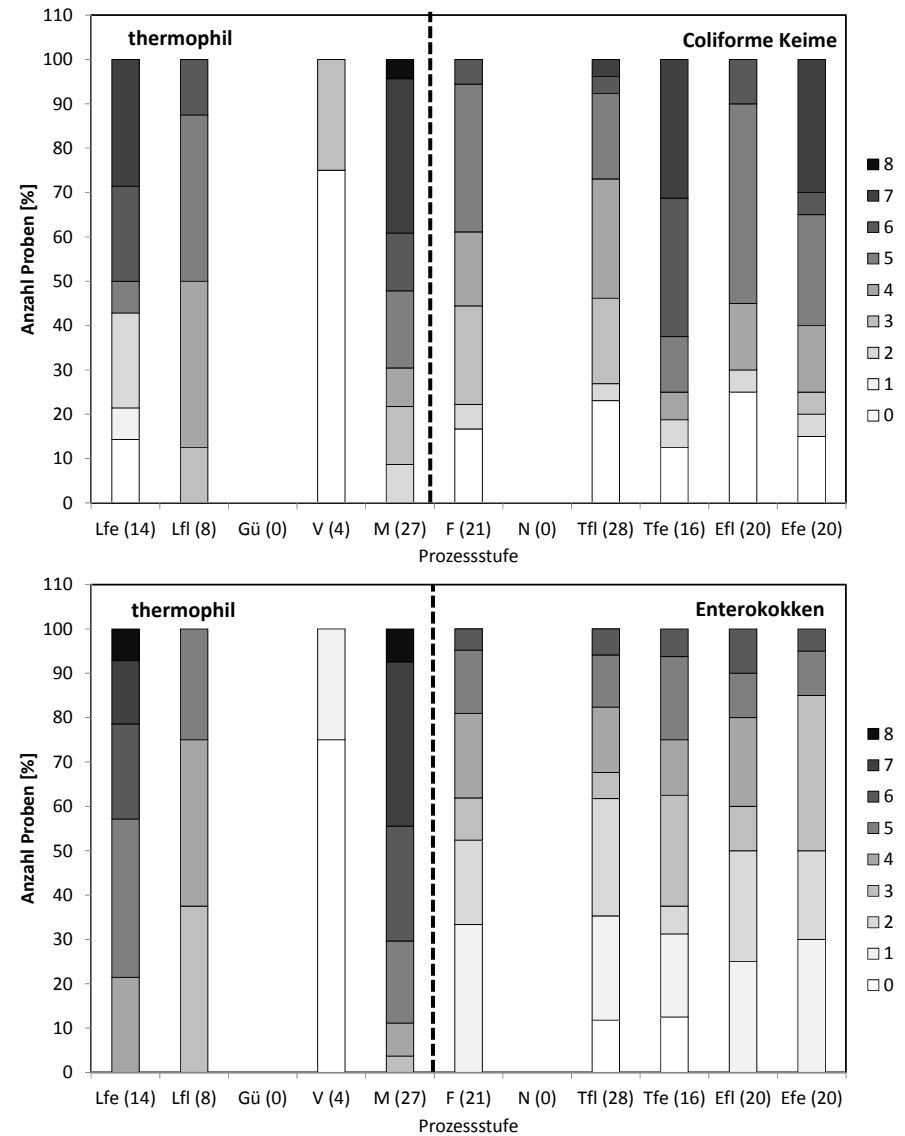
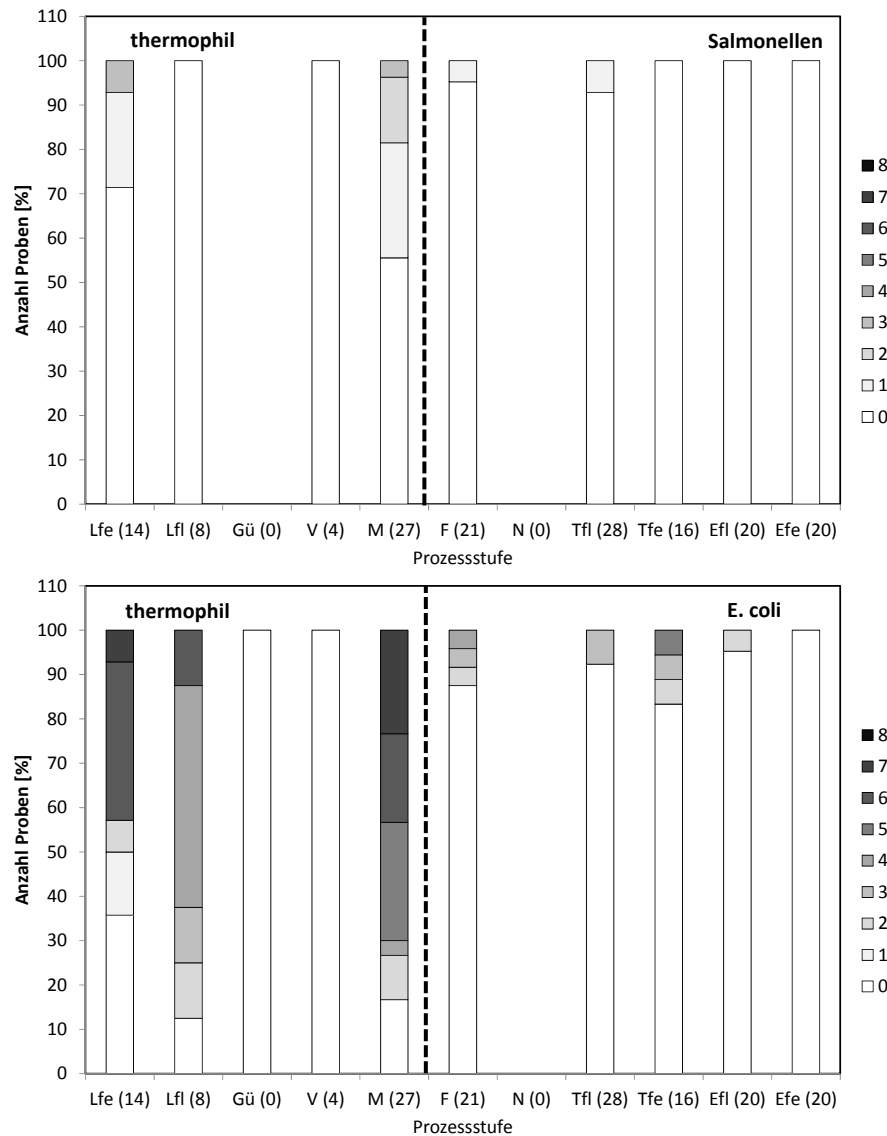


Fig. 3. Verteilung der Proben in Bezug auf ihren Besitz an potentiellen Krankheitserreger in den verschiedenen Prozessstufen in thermophilen Vergärungsanlagen in der Schweiz.

Abkürzungen: siehe Tab. 2. Die Probenanzahl pro Prozessstufe ist in Klammern angegeben.

Klassen: 0: nicht nachweisbar; 1: < 100 Keime/ml; 2: 10^2 – 10^3 Keime/ml; 3: 10^3 – 10^4 Keime/ml; 4: 10^4 – 10^5 Keime/ml; 5: 10^5 – 10^6 Keime/ml; 6: 10^6 – 10^7 Keime/ml; 7: 10^7 – 10^8 Keime/ml; 8: $> 10^8$ Keime/ml.

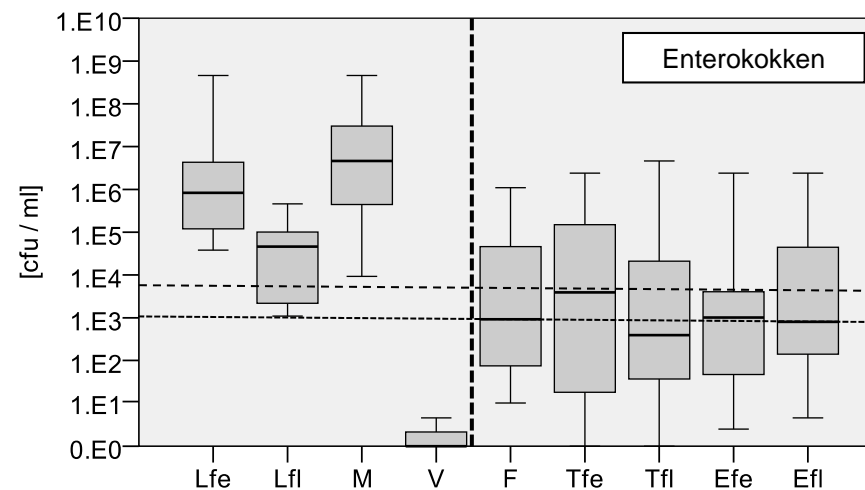
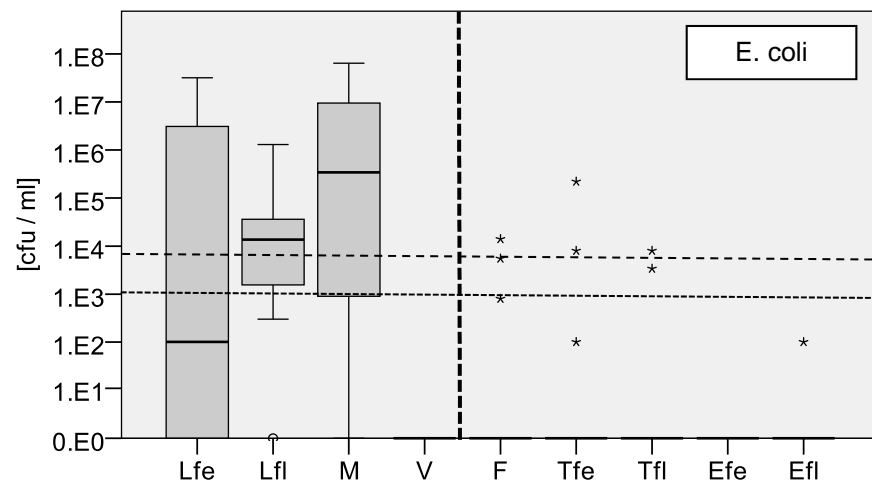
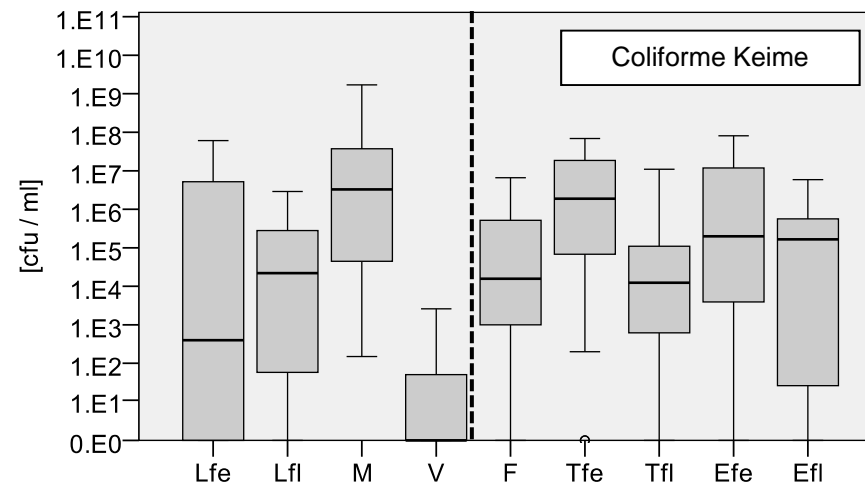
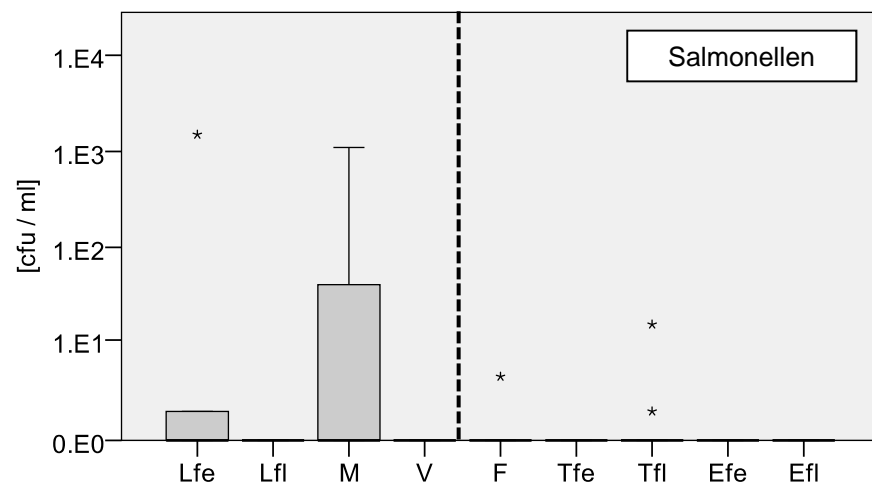


Fig. 4. Anzahl potentieller Krankheitserreger in den verschiedenen Prozessstufen in thermophilen Vergärungsanlagen in der Schweiz.
Abkürzungen: siehe Tab. 2. Normen der Verordnung (EU) Nr. 142/2011: ----- Schwellenwert, ---- : Höchstwert.

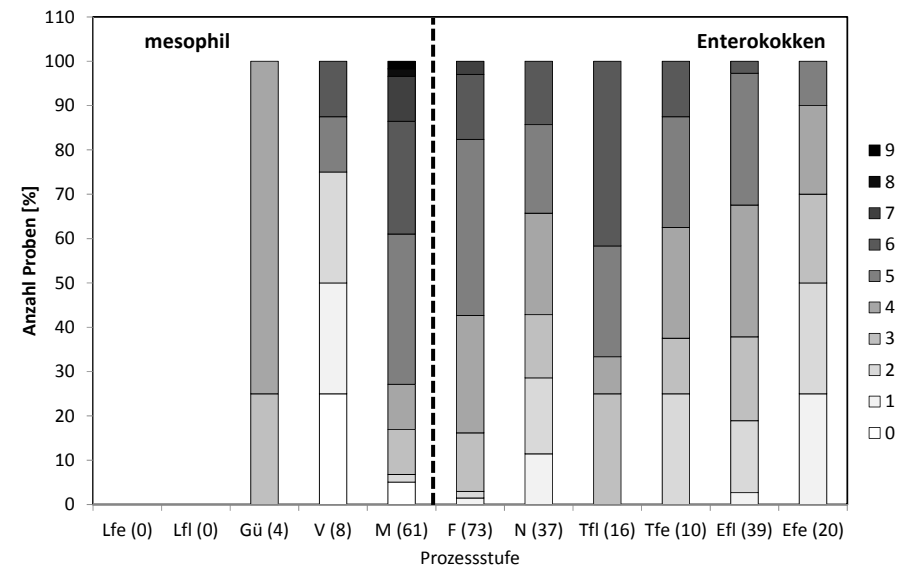
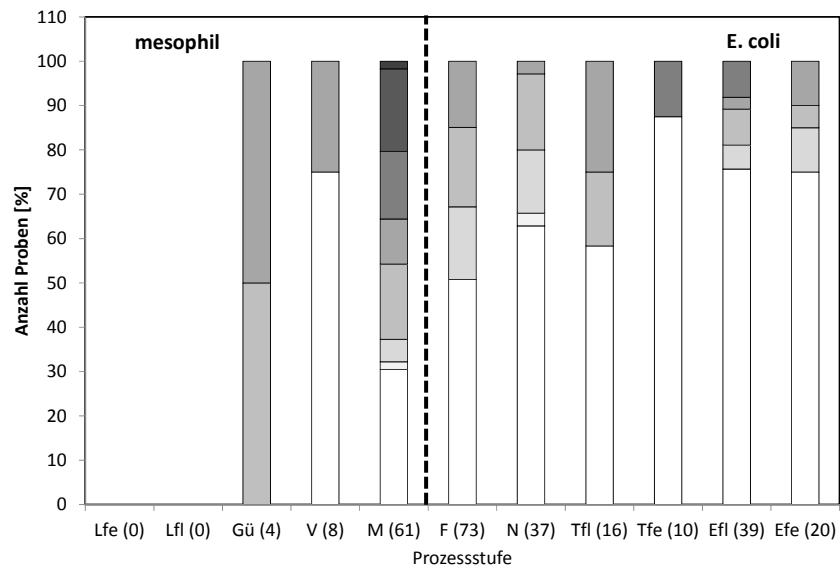
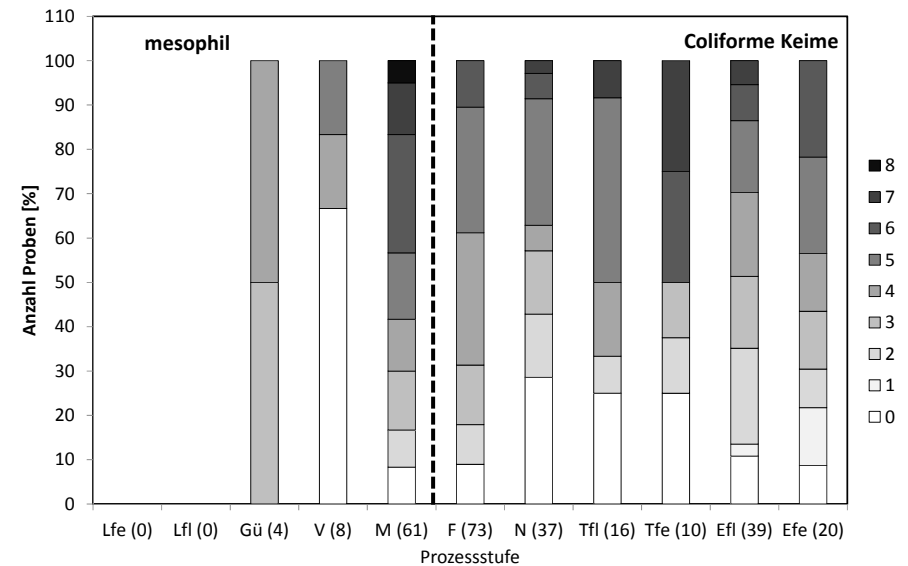
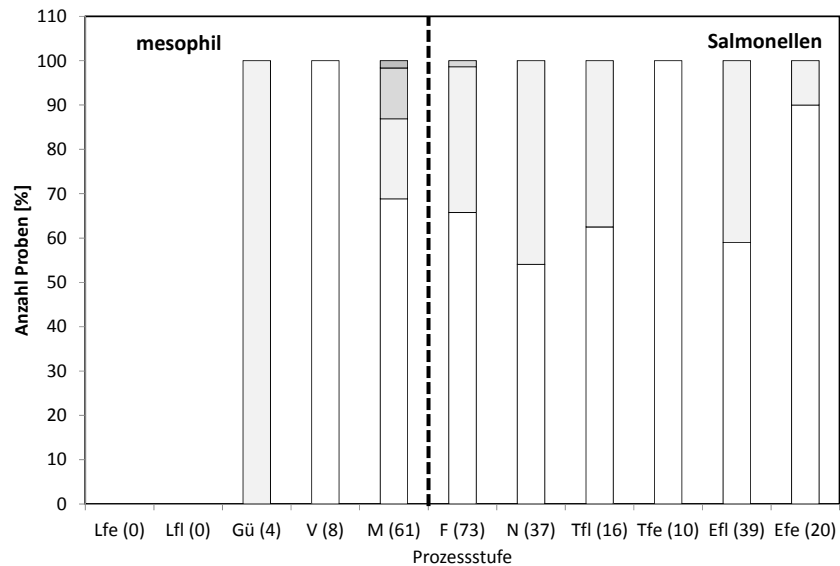


Fig. 5. Verteilung der Proben in Bezug auf ihren Besitz an potentiellen Krankheitserreger in den verschiedenen Prozessstufen in mesophilen Vergärungsanlagen in der Schweiz.

Abkürzungen: siehe Tab. 2. Die Probenanzahl pro Prozessstufe ist in Klammern angegeben.

Klassen: 0: nicht nachweisbar; 1: < 100 Keime/ml; 2: 10^2 – 10^3 Keime/ml; 3: 10^3 – 10^4 Keime/ml; 4: 10^4 – 10^5 Keime/ml; 5: 10^5 – 10^6 Keime/ml; 6: 10^6 – 10^7 Keime/ml; 7: 10^7 – 10^8 Keime/ml; 8: $> 10^8$ Keime/ml.

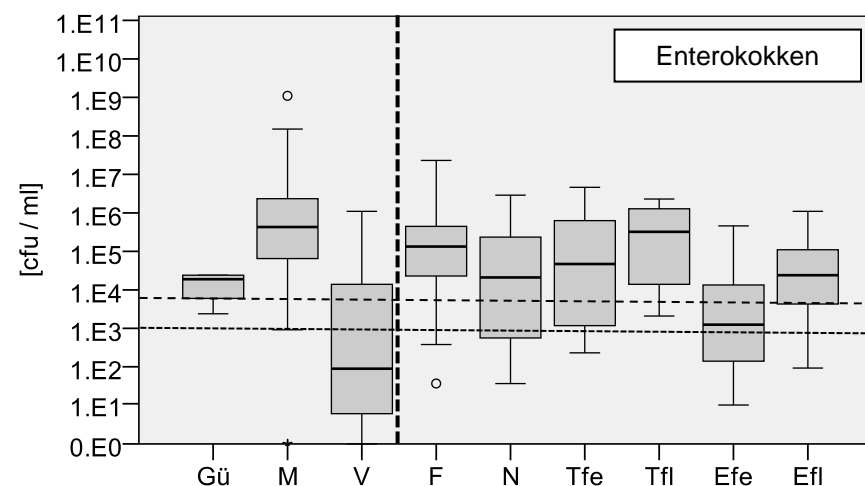
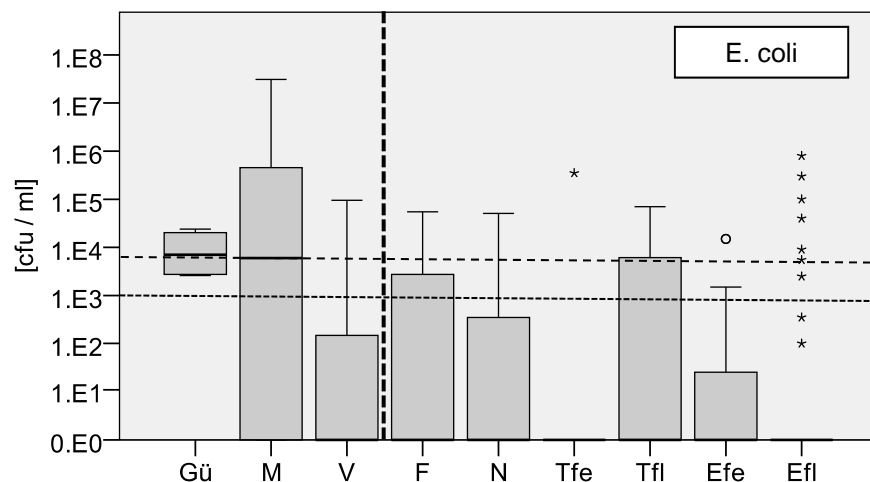
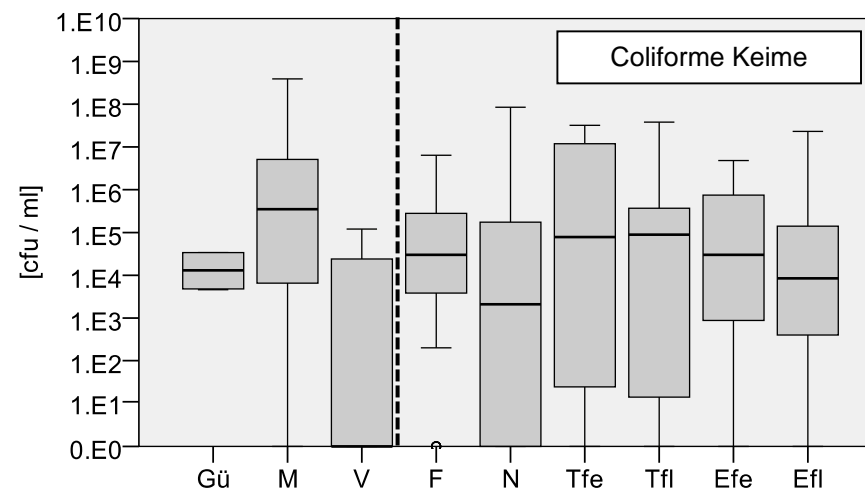
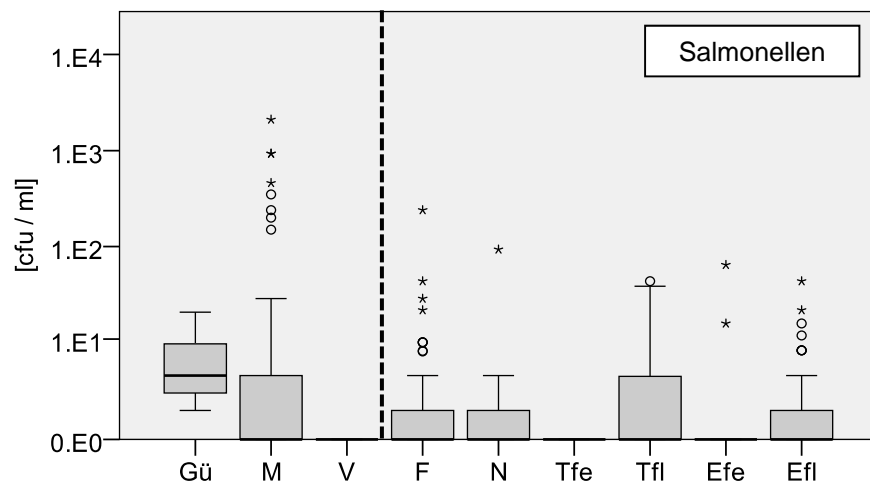


Fig. 6. Anzahl potentieller Krankheitserreger in den verschiedenen Prozessstufen in mesophilen Vergärungsanlagen in der Schweiz.

Abkürzungen: siehe Tab. 2. Normen der Verordnung (EU) Nr. 142/2011: ----- Schwellenwert, ---- : Höchstwert.

Tab. 3. Einfluss der Prozesstemperatur über die Anzahl Proben und Anlagen, bei welchen pathogene Keime isoliert werden konnten¹.

	1. Kampagne				2. Kampagne				3. Kampagne				Gesamt			
	% der Proben mit Keimen		% der Anlagen mit Keimen		% der Proben mit Keimen		% der Anlagen mit Keimen		% der Proben mit Keimen		% der Anlagen mit Keimen		% der Proben mit Keimen		% der Anlagen mit Keimen	
	thermo.	meso.	thermo.	meso.	thermo.	meso.	thermo.	meso.	thermo.	meso.	thermo.	meso.	thermo.	meso.	thermo.	meso.
Anzahl Proben / Anlagen	9	26	5	12	12	21	6	12	10	22	6	12	31	69	17	36
Salmonellen	11.1	42.3	20.0	41.7	0.0	19.0	0.0	25.0	0.0	45.5	0.0	50.0	3.2	36.2	5.8	39.3
<i>E. coli</i>	33.3	60.0	20.0	75.0	16.7	20.0	16.7	25.0	0.0	63.6	0.0	58.3	16.1	49.0	12.3	54.5
coliforme Keime	100.0	100.0	100.0	100.0	83.3	95.0	83.3	100.0	40.0	77.3	60.0	75.0	74.2	91.2	80.6	92.0
Enterokokken	100.0	100.0	100.0	100.0	83.3	100.0	83.3	100.0	80.0	100.0	60.0	100.0	87.1	100.0	80.6	100.0

¹: Anzahl der Proben nach dem Fermenter mit Keimen in % der gesamten Anzahl untersuchter Proben, bzw. Anzahl der Anlagen mit Keimen in Proben nach dem Fermenter in % der gesamten Anzahl der untersuchten Anlagen. Thermo.: thermophile Anlagen; meso.: mesophilen Anlagen.

3.5. Reinfektionspotential von Gärgut bei der nachgeschalteten Lagerung

Für keinen der analysierten Keime konnte aus die gewonnenen Daten eine Reinfektion von Gärgut resp. eine Wiederverkeimung und eine Anreicherung während der Lagerung nachgewiesen beobachtet werden (Fig. im Anhang). In sämtlichen flüssigen und festen Gärgutfraktionen, sowohl nach der mesophilen als auch nach der thermophilen Vergärung, liegen die Populationsdichten der analysierten Hygieneleitkeime tiefer (Salmonellen, E. coli) oder auf gleichem Niveau (Coliforme Keime, Enterokokken) wie in den Mischungen der Inputmaterialien (Fig. 4 und 6). Es wurden global gesehen keine erhöhten Populationen an Keimen nach der Fermentation und nach der Lagerung beobachtet.

4. Bedeutung der gemessenen Keimzahlen für die Praxis

Es gibt zur Zeit keine Grenz- oder Richtwerte für Keime in Komposten und Gärgut in der Schweiz. Die EU hat aber Normen für Enterococcaceae, Escherichia coli und Salmonellen definiert. Auch wenn die Grenzwerte für Enterokokken zur Zeit als geeigneter Indikator in Frage gestellt werden, geben uns diese Normen ein Mass um die Relevanz der gewonnenen Daten abzuschätzen.

4.1. Verordnung (EU) Nr. 142/2011 vom 25. Februar 2011

In dieser Verordnung werden Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte festgelegt. Die Normen für Fermentationsrückstände und Kompost werden wie folgt definiert:

- **Enterococcaceae:** $n = 5, c = 1, m = 1\ 000, M = 5\ 000$ in 1 g
- **Escherichia coli:** $n = 5, c = 1, m = 1\ 000, M = 5\ 000$ in 1 g
- **Salmonellen:** in 25 g nicht nachweisbar: $n=5, C=0, m=0, M=0$
mit:
 $n =$ Anzahl der zu untersuchenden Proben;
 $m =$ Schwellenwert für die Keimzahl; das Ergebnis gilt als zufriedenstellend, wenn die Keimzahl in allen Proben m nicht überschreitet;
 $M =$ Höchstwert für die Keimzahl; das Ergebnis gilt als nicht zufriedenstellend, wenn die Keimzahl in einer oder mehreren Proben größer oder gleich M ist
 $c =$ Anzahl der Proben, bei denen die Keimzahl zwischen m und M liegen kann, wobei die Proben noch als zulässig gelten, wenn die Keimzahl in den anderen Proben kleiner oder gleich m ist.

4.2. Keimzahlen in den Proben in Relation zu den EU-Normen

Bei den Enterokokken haben ca. zwei Drittel der Proben aus mesophilen Anlagen höheren Besatz als der definierte Höchstwert (Fig. 7). Bei den thermophilen Anlagen zeigen nur ca. ein Drittel der Proben einen solchen Besatz (Fig. 7).

Bedeutungsvoller sind jedoch die Werte von *E. coli* und den Salmonellen. Bei den mesophilen Anlagen zeigt ein Viertel der *E. coli* Konzentrationen über dem Höchstwert, und ein Drittel über dem Schwellenwert, und dies gut verteilt auf alle Produkte (Fig. 8). Eine ähnliche Situation ist bei den Salmonellen zu beobachten (Fig. 9).

Deutlich anders ist die Situation bei den thermophilen Anlagen. Dort sind nur weniger als zehn Prozent der Proben mit Werten über dem Schwellenwert zu bezeichnen, sowohl bei *E. coli* als auch bei den Salmonellen (Fig. 8 und 9). Interessant zu notieren ist, dass diese einzelnen Proben mit Keimzahlen höher als die Schwellen- oder Höchstwerte nur unmittelbar nach dem Fermenter (vor oder nach der Produkttrennung) vorkamen, aber dass alle Proben im Endlager *E. coli* - Besätze hatten, die unter dem Schwellenwert lagen, und keine Salmonellen in 25 g Probe nachweisbar waren.

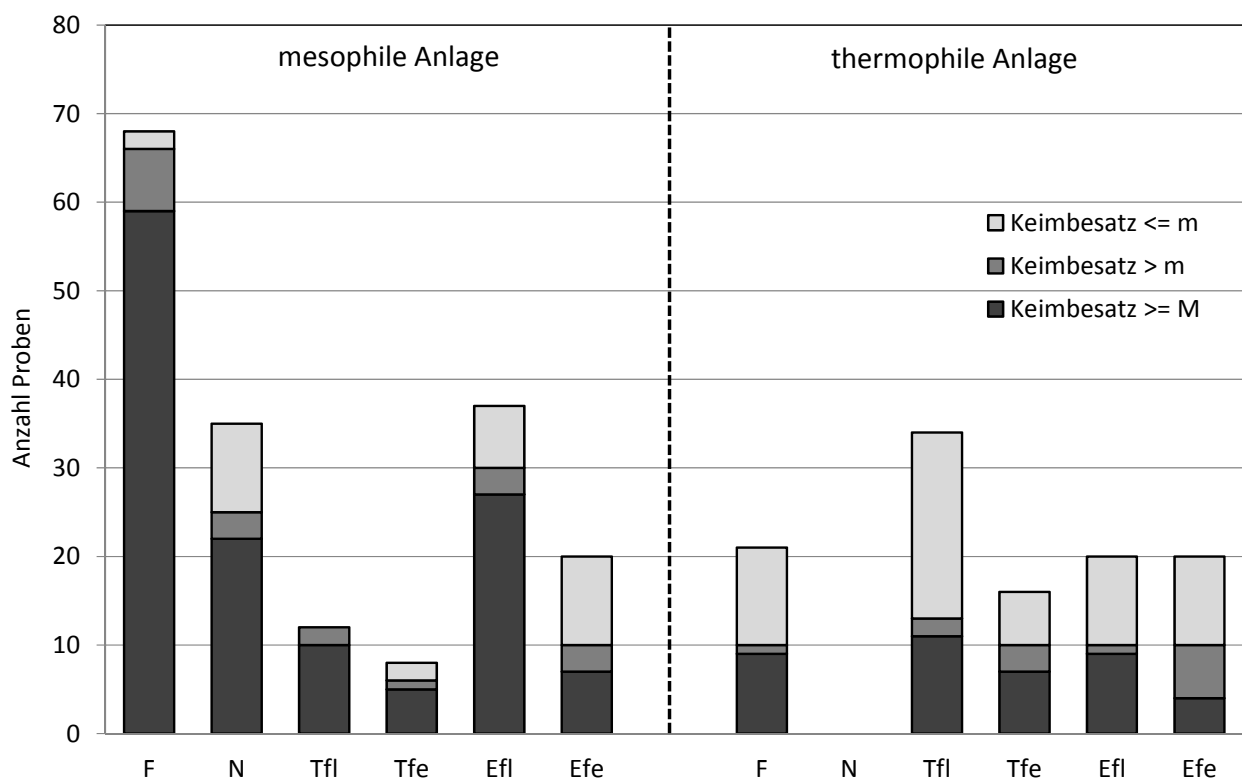


Fig. 7. Enterokokken-Besatz in den Gärgutproben angesichts der Normen der Verordnung (EU) Nr. 142/2011

Abkürzungen: siehe Tab. 2. m = Schwellenwert (= 1000 / g), M = Höchstwert (= 5000 / g)

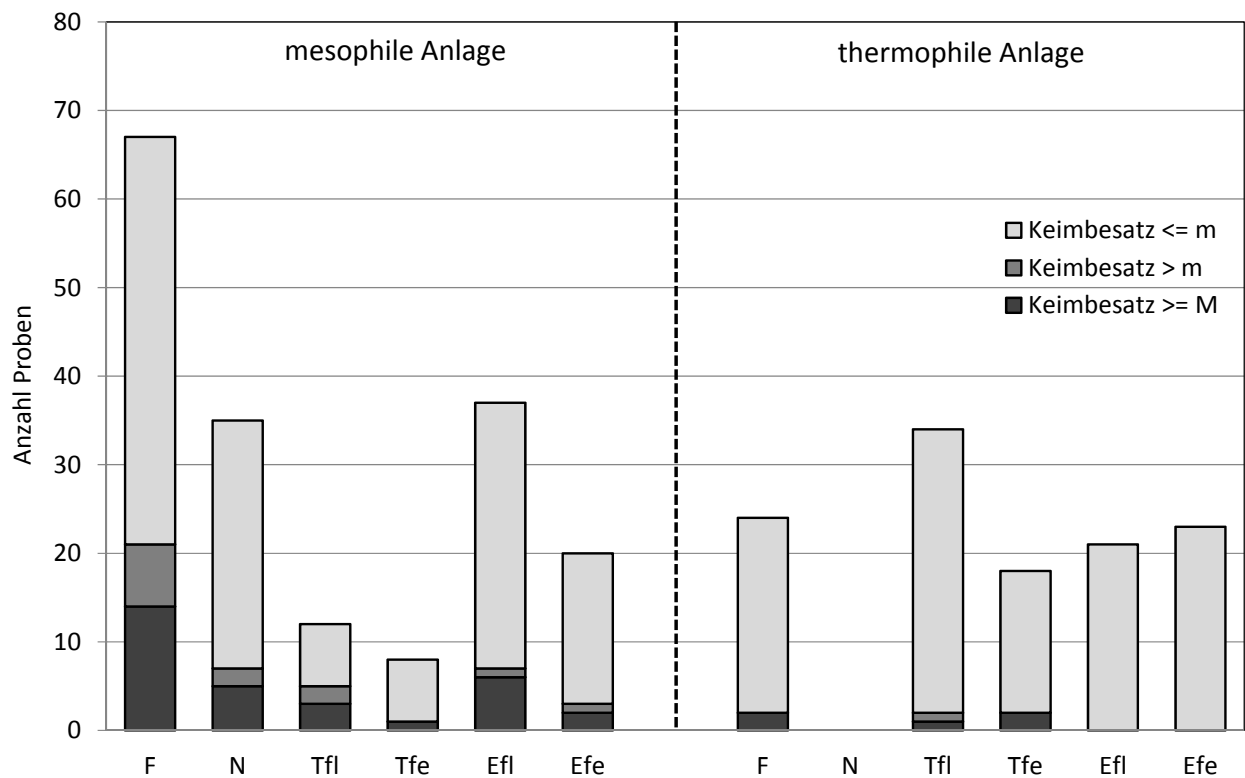


Fig.8. E. coli-Besatz in den Gärgutproben angesichts der Normen der Verordnung (EU) Nr. 142/2011
Abkürzungen: siehe Tab. 2. m = Schwellenwert (= 1000 / g), M = Höchstwert (= 5000 / g)

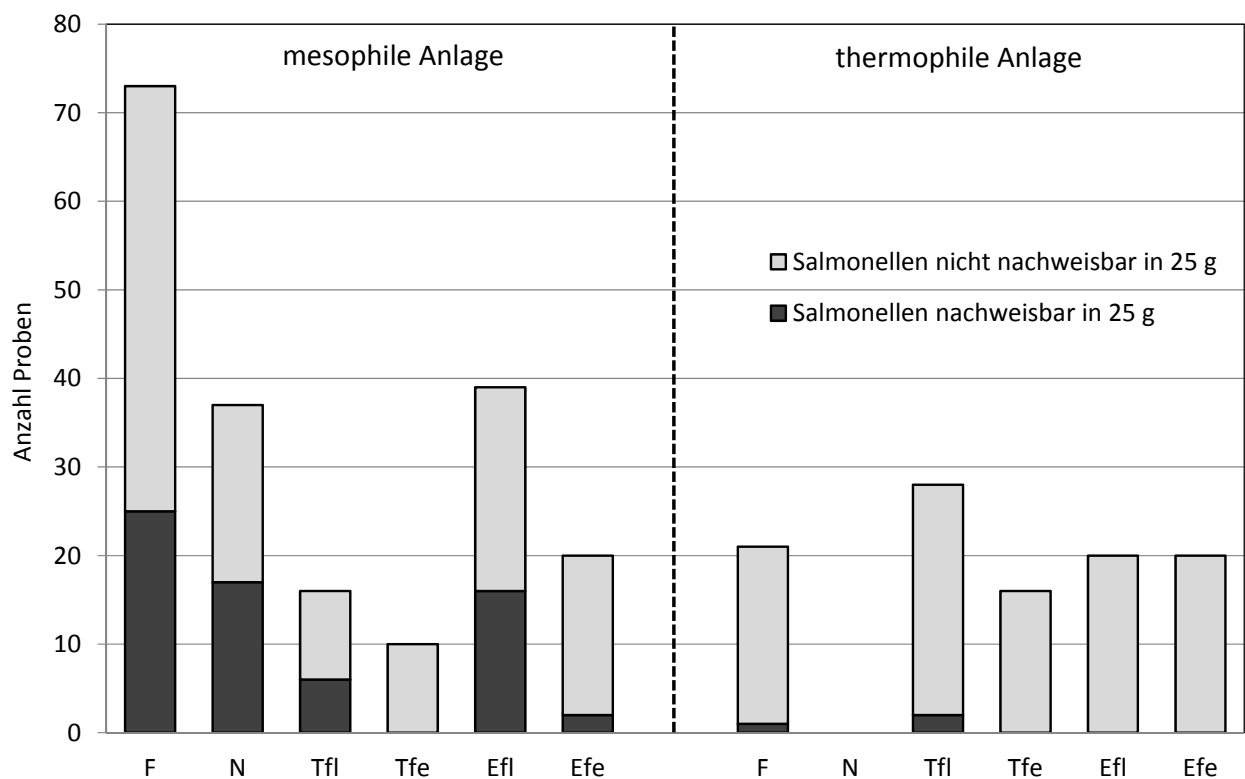


Fig. 9. Salmonellenbesatz in den Gärgutproben angesichts der Normen der Verordnung (EU) Nr. 142/2011
Abkürzungen: siehe Tab. 2.

5. Empfehlungen für die Anwendung von flüssigem Gärgut aus der hygienische Sicht

Aus hygienischer Sicht ist thermophiles Gärgut problemlos in allen Kulturen einsetzbar, vorausgesetzt, dass der Vergärungsprozess (Temperatur und Verweilzeit) kontrolliert ist, und dass keine Rekontamination durch unsachgemässe Organisation der Anlage möglich ist.

Die hygienischen Risiken von mesophilem Gärgut sind auf der gleichen Stufe wie die von Gülle einzustufen. Somit sollen bei der Anwendung von mesophilem Gärgut die gleichen Vorsichtmassnahmen wie für Gülle beachtet werden. Für Acker- und Futterbau ist auch mesophil erzeugtes Gärgut einsetzbar. Für aus gesundheitlicher Hinsicht heikle Kulturen (rohverzehrtes Gemüse) empfehlen wir, die Massnahmen, die im EU-Projekt PathOrganic erarbeitet wurden, in der Praxis einzusetzen. Diese sind präsentiert im Merkblatt „Manure for Vegetables“ von Martin Koller *et al.* (2011, kostenlos herunterladbar auf www.fibl.org, Bestellungsnummer 1562) vom FiBL-Shop. Dabei sind die wichtigsten Punkte:

- Wenn möglich soll Gärgut nachkompostiert werden
- Gärgut flach einarbeiten, um einerseits einen raschen Abbau der Keime zu ermöglichen und andererseits, um Ammoniakverluste zu vermindern.
- In Gemüsekulturen, mit weniger als hundert Wachstumstage und die roh verzehrt werden können, soll mesophiles Gärgut spätestens vier Monate vor Kulturanfang angewendet werden.

Allgemein soll Gärgut nach guter landwirtschaftlicher Praxis eingesetzt werden, was bedeutet, dass dieses nur bei geeigneten meteorologischen Bedingungen ausgebracht wird und nur wenn die Pflanzen die verfügbaren Nährstoffe assimilieren können. Die Anwendungsmengen müssen dazu dem Pflanzenbedarf entsprechen, um eine Belastung des Bodens und der Luft durch Nährstoffüberschüsse zu vermeiden.

6. Schlussfolgerungen

Inputmaterialien

- Die Inputmaterialien mit dem grössten Erregerbesatz sind Grüngut und Panseninhalt. Eher gering belastet sind dagegen Milch- und VTNP-Produkte. Eine grosse Variation innerhalb der Produktkategorien ist jedoch zu beobachten, was keine klare Klassierung der Materialien erlaubt.
- Salmonellen können in den Inputmaterialien Schweizerischer Biogasanlagen nur sehr vereinzelt und in geringen Konzentrationen nachgewiesen werden. Ein erhöhtes Vorkommen in VTNP-Materialien ist nicht vorhanden.
- Sowohl coliforme Keime, *E. coli* als auch Enterokokken werden in den meisten Inputmaterialien in mittleren Konzentrationen nachgewiesen. Diese Leitkeime eignen sich entsprechend nur sehr begrenzt zur Beurteilung des seuchenhygienischen Risikos eines Materials.
- *Campylobacter* spp. kann in keinem der Inputmaterialien nachgewiesen werden und ist damit ebenfalls nicht zur Beurteilung des seuchenhygienischen Risikos eines Materials geeignet.

Behandlungsverfahren

- Salmonellen und *E. coli* können in den thermophilen Anlagen effizient und auf nicht mehr nachweisbare Niveaus eliminiert werden, Voraussetzung die Temperatur-Verweilzeit-Kombination entspricht den Vorgaben und es sind keine Kurzschlussströmungen vorhanden.
- Enterokokken werden in thermophilen Vergärungen stark reduziert aber nicht vollständig eliminiert, die Konzentrationen werden bei thermophilen Prozessen um ca. drei Zehnerpotenzen reduziert.
- Der thermophile Prozess hat nur eine bescheidene Wirkung auf die Quantität an coliformen Keimen in den Produkten.
- Die Behandlungsprozesse in mesophilen Anlagen haben nur einen geringfügigen Einfluss auf die Mengen der untersuchten Keime. Zwar wird die Quantität an *E. coli* reduziert, aber diese Keime sind zum Teil immer noch in bedeutenden Mengen in den Endprodukten zu finden.

Bei der Bestimmung der Konzentrationen von Hygieneleitkeimen konnten teilweise deutliche Streuungen zwischen ähnlichen Inputmaterialien oder Endprodukten unterschiedlicher Anlagen beobachtet werden. Hier spielen möglicherweise die Prozessführung und vor allem die Abläufe im Betrieb eine grössere Rolle. So ist z.B. das Rekontaminationsrisiko des Endlagers für Feststoffe durch Pneulader unklar und sollte untersucht werden. Ebenso sind die kurzfristigen, ev. saisonalen und temperaturabhängigen Fluktuationen der Organismenkonzentrationen nicht bekannt.

Als Schlussfolgerung für die Gärgutanwendung muss davon abgeraten werden, Gärgut aus mesophilen Anlagen direkt oder nach Lagerung in Kulturen anzuwenden, welche roh verzehrt werden. Prinzipiell ist bei der Verwertung von mesophil behandeltem Gärgut im Gemüsebau grosse Vorsicht geboten. Für diese Kulturen scheint flüssiges Gärgut aus thermophilen Anlagen aus hygienischer Sicht unproblematisch zu sein, vorausgesetzt, dass die Prozessführung der Anlage der guten fachlichen Praxis entspricht. Der Ausbildung des Personals ist entsprechende Aufmerksamkeit zu schenken.

Danksagung

Die Autoren dieses Projektes möchten allen beteiligten Vergärungsanlagenbetreibern für ihre Zusammenarbeit und Offenheit herzlich danken.

Ein grosser Dank geht auch an die folgenden Ämter, die das Projekt sachlich und finanziell mitgetragen haben, und somit seine Durchführung ermöglichten: Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bundesamt für Energie (BFE), Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Bundesamt für Veterinärwesen (BVET).

Jacques Fuchs, FiBL
Projektleiter

Urs Baier, ZHAW

Alfred Berner, FiBL

Werner Philipp, Universität Hohenheim

Konrad Schleiss, UMWEKO

Frick, den 28.07.2014

Literatur

- Ade-Kappellmann K. 2008. Untersuchungen zur seuchenhygienischen Unbedenklichkeit von Gärresten aus Bioabfällen nach der Behandlung in Anaerobanlagen. Dissertation an der Institut für Tier- und Umwelthygiene, Freien Universität Berlin, Berlin (Germany), 158 pp.
- Anonym (1992): Brockhaus Enzyklopädie in vierundzwanzig Bänden, völlig neu bearbeitete Auflage, Neunzehnter Band Rut – Sch. F.A. Brockhaus GmbH, Mannheim
- Anonym (2003): Environment Agency. The Microbiology of Drinking Water-Part 4-Methods for the isolation and enumeration of coliform bacteria and Escherichia coli (including E. coli 0157:H7).
- Anonym (2014). Hygienepapier: Verhalten von Krankheitserreger in Biogasanlagen. Fachverband Biogas e.V., Freising (D), 9 pp.
- Bagge E, Sahlström L, Albiñ A. (2005). The effect of hygienic treatment on the microbial flora of biowaste at biogas plants. Water Research 39: 4879-4886.
- De Man, J.C. (1983): MPN Tables, Corrected. Eur. Appl. Microbiol. Biotechnol. 17, 301-305
- Bioabfallverordnung (2012) siehe Anhang 2. Nachweis von Salmonellen: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bioabfv/gesamt.pdf>
- Drca; M. (2007): Seuchenhygienisch-mikrobiologische Untersuchungen an einer mesophil betriebenen Biogasanlage zur Verwertung von Speiseresten in Verbindung mit methodischen Untersuchungen zum Nachweis von Salmonellen und Escherichia coli aus biologischem Material. Vet.-med. Diss., Universität Leipzig.
- Hoedemaker M, et al. (2014). Mikrobiologisches Risikopotenzial von Biogasanlagen unter besonderer Berücksichtigung von Hühnerkot als Gärsubstrat. Tierärztliche Hochschule Hannover. Projektträger: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Forschungsprojekt-Nummer 2810HS005, 113 pp.
- Marciniszyn E, Heckman J, Klages S, Schwab M, Philipp W. (2003). Optimierung der Anaerob-Technik zur Behandlung von Bioabfällen aus Sicht der Hygiene sowie Erarbeitung eines Hygiene-Prüfsystems für Anaerob-Anlagen. Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Report no. DBU Az. 15008, 129 pp.
- Paavola T, Rintala J. (2008). Effects of storage on characteristics and hygienic quality of digestates from four co-digestion concepts of manure and biowaste. Bioresource Technology 99: 7041-7050.
- Philipp W, Hölzle L-E. 2012. Krankheitskeime in Gärresten aus Biogasanlagen? Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 72: 216-220.
- Reinhold G, Jahn O. (2004). Hygienisierende Wirkungen der Biogaserzeugung auf die Gärsubstrate. In: Tagungsband des 116. VDLUFA-Kongresses Rostock, 13. – 17.9.2004, 7pp.
- Sutton, S. (2010). The most probable number method and its use in enumeration, qualification and validation. Journal of Validation Technology 16(3), 35-38.

Abschätzung des hygienischen Risikos im Zusammenhang mit der Anwendung von flüssigem Gärgut in der Schweiz

Anhang : Ergebnisse aus den einzelnen Anlagen

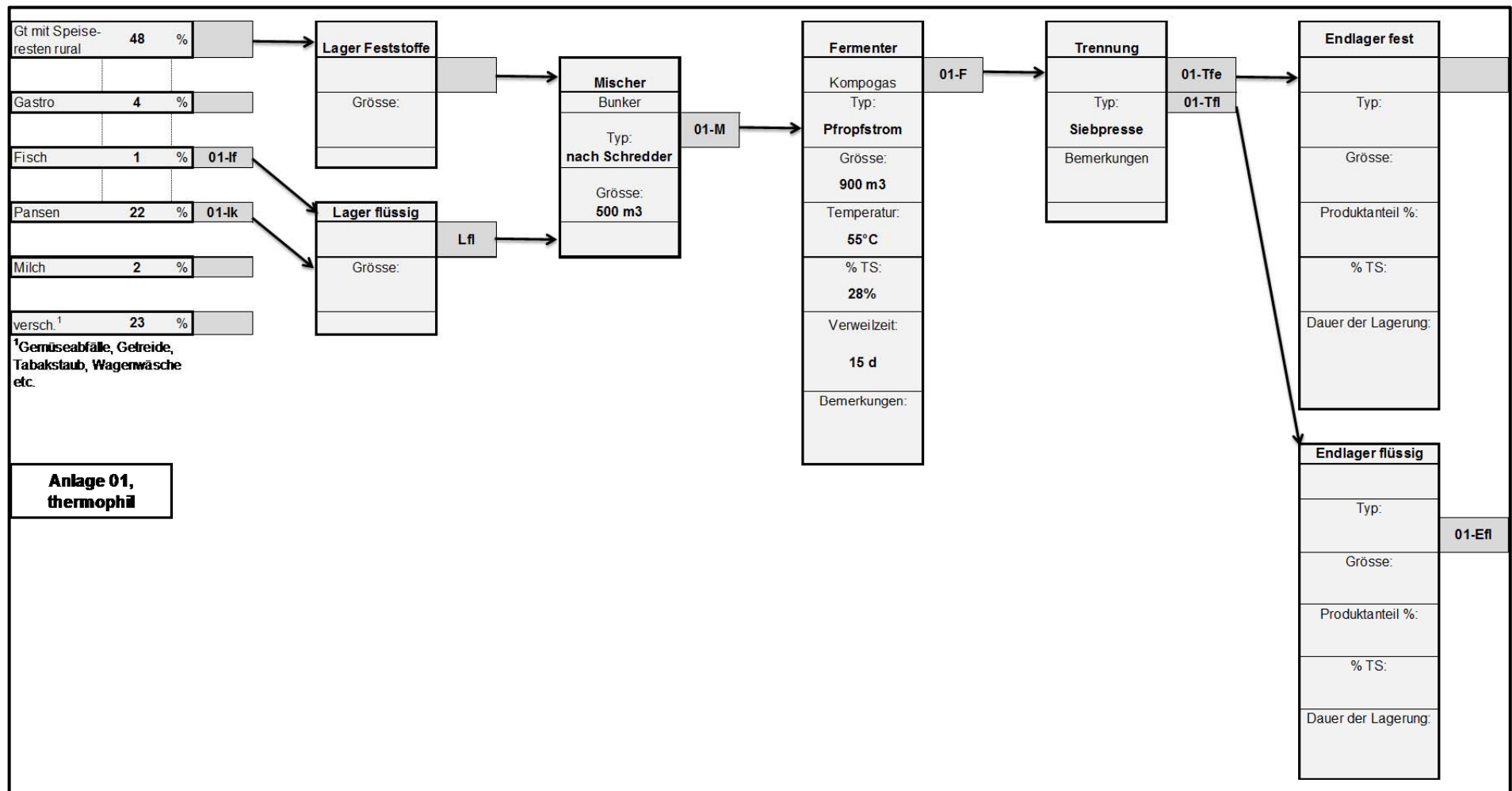


Fig. A1a. Beschreibung der Anlage 01 (thermophil).

Anlage Typ Kompogas (mit Typenbewilligung vom BVET: thermische Vorbehandlung für TNP nicht nötig)

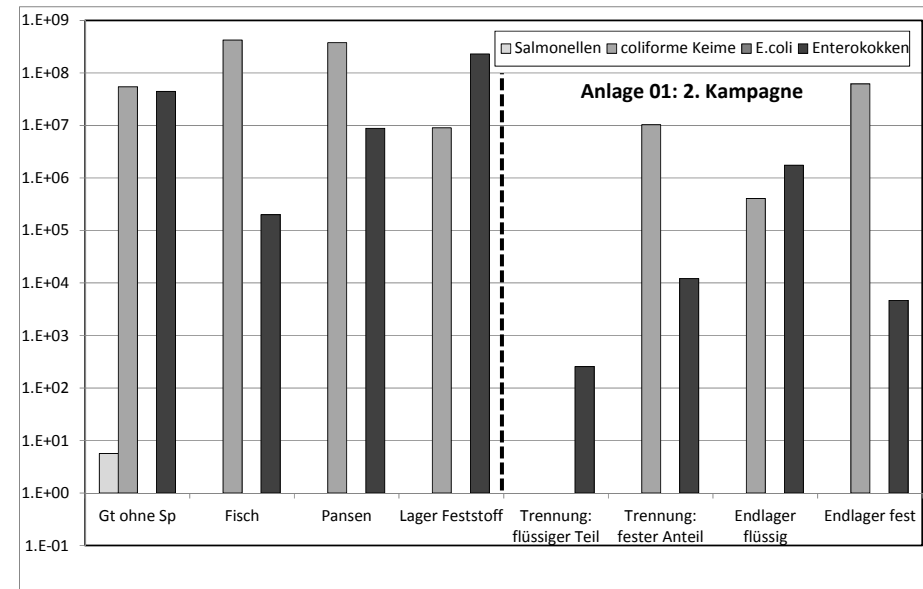
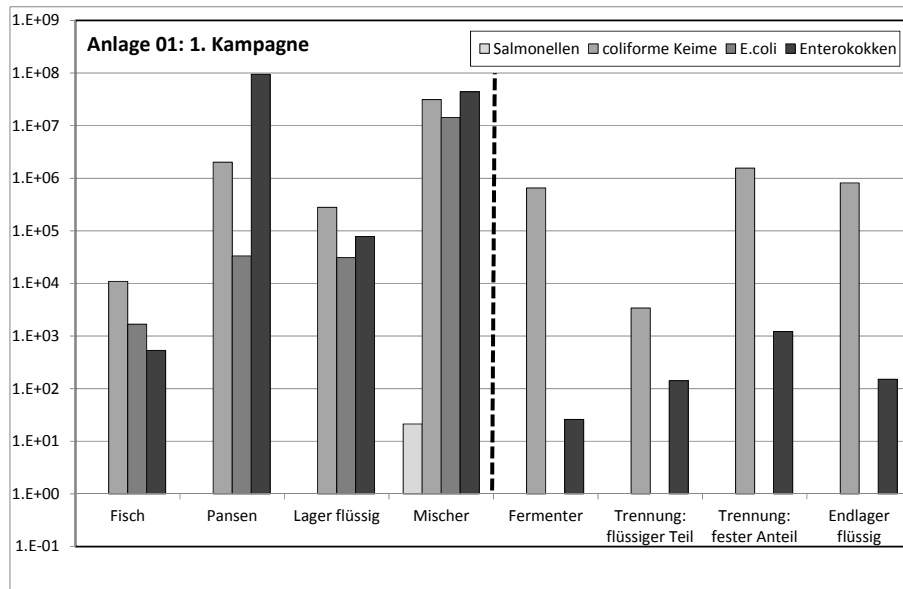
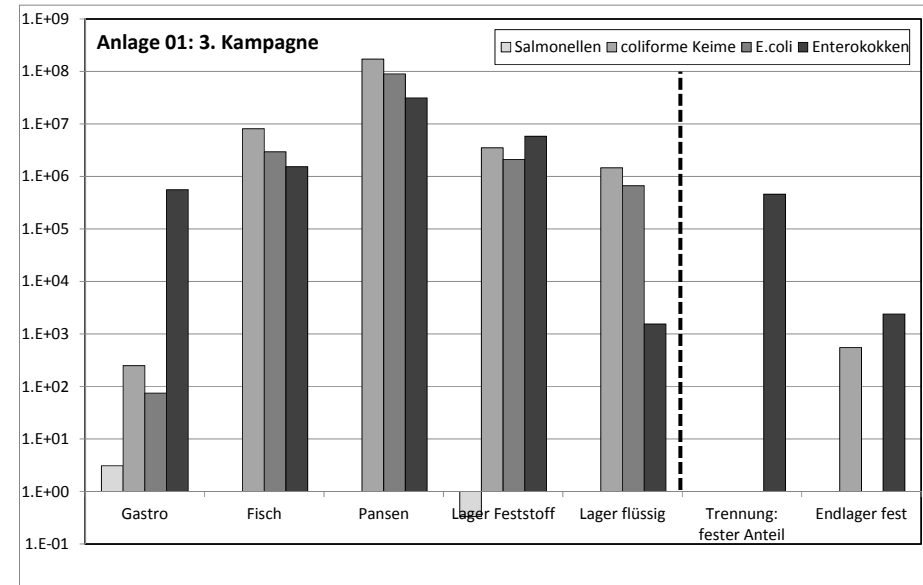


Fig. A1b. Keimpopulationen in den verschiedenen Inputmaterialien und Produkten der Anlage 01 (thermophil).
Kein Balken: Organismus nicht nachweisbar.



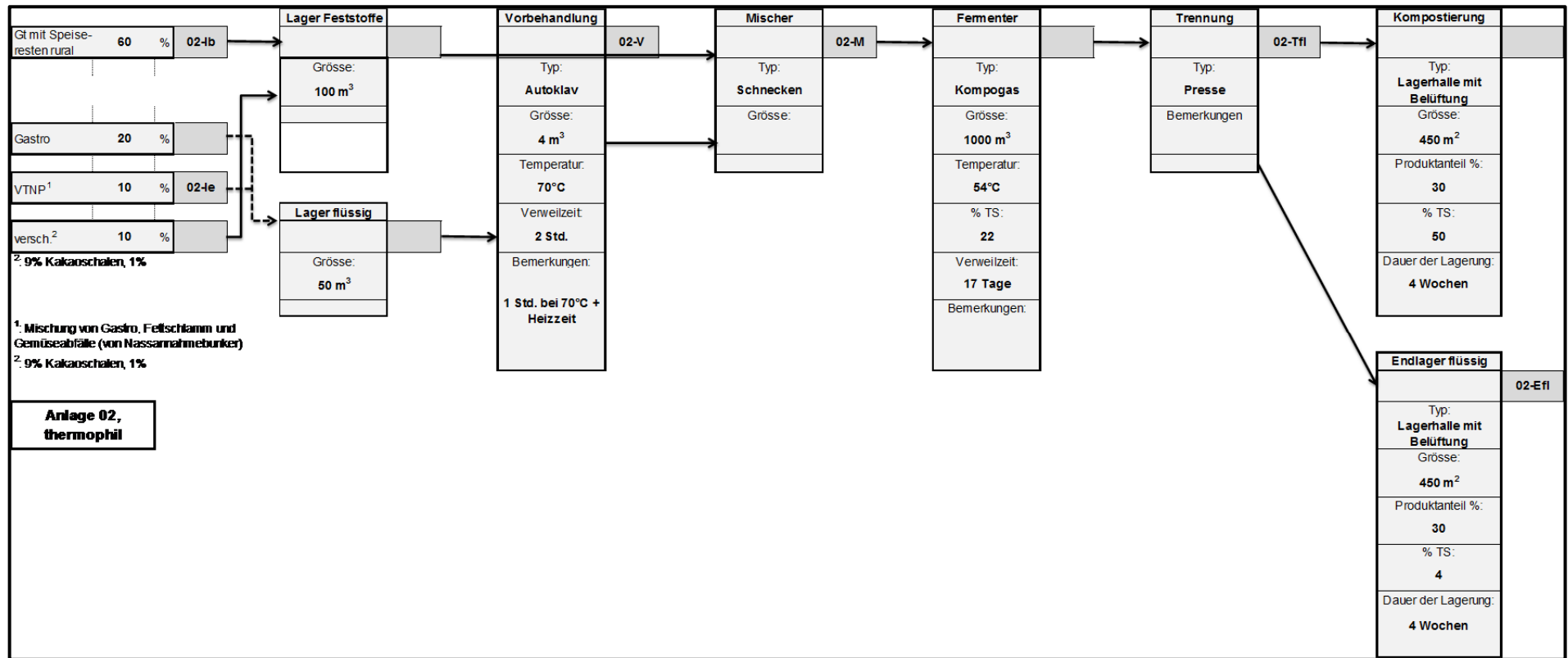


Fig. A2a. Beschreibung der Anlage 02 (thermophil).

Anlage Typ Kompogas (mit Typenbewilligung vom BVET: thermische Vorbehandlung für TNP nicht nötig)

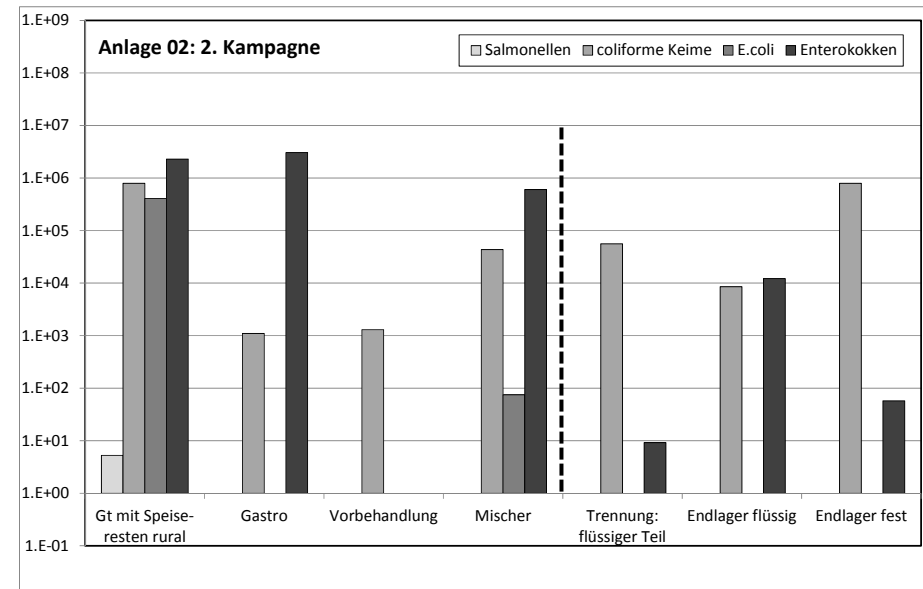
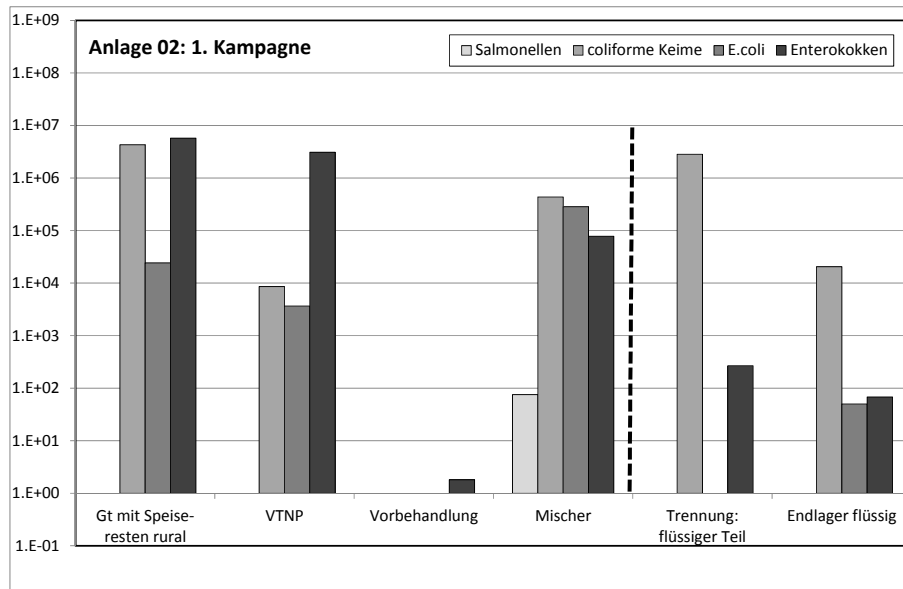
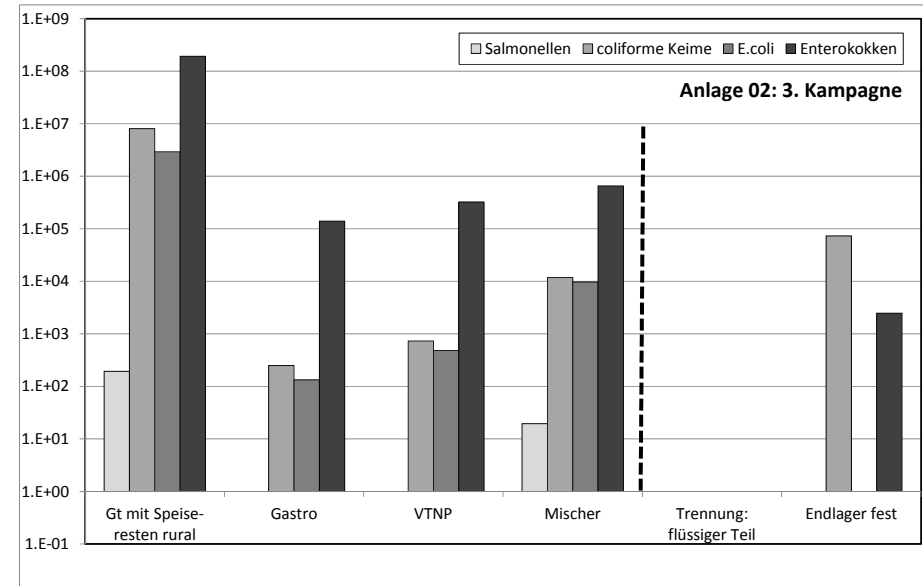


Fig. A2b. Keimpopulationen in den verschiedenen Inputmaterialien und Produkten der Anlage 02 (thermophil).
Kein Balken: Organismus nicht nachweisbar.



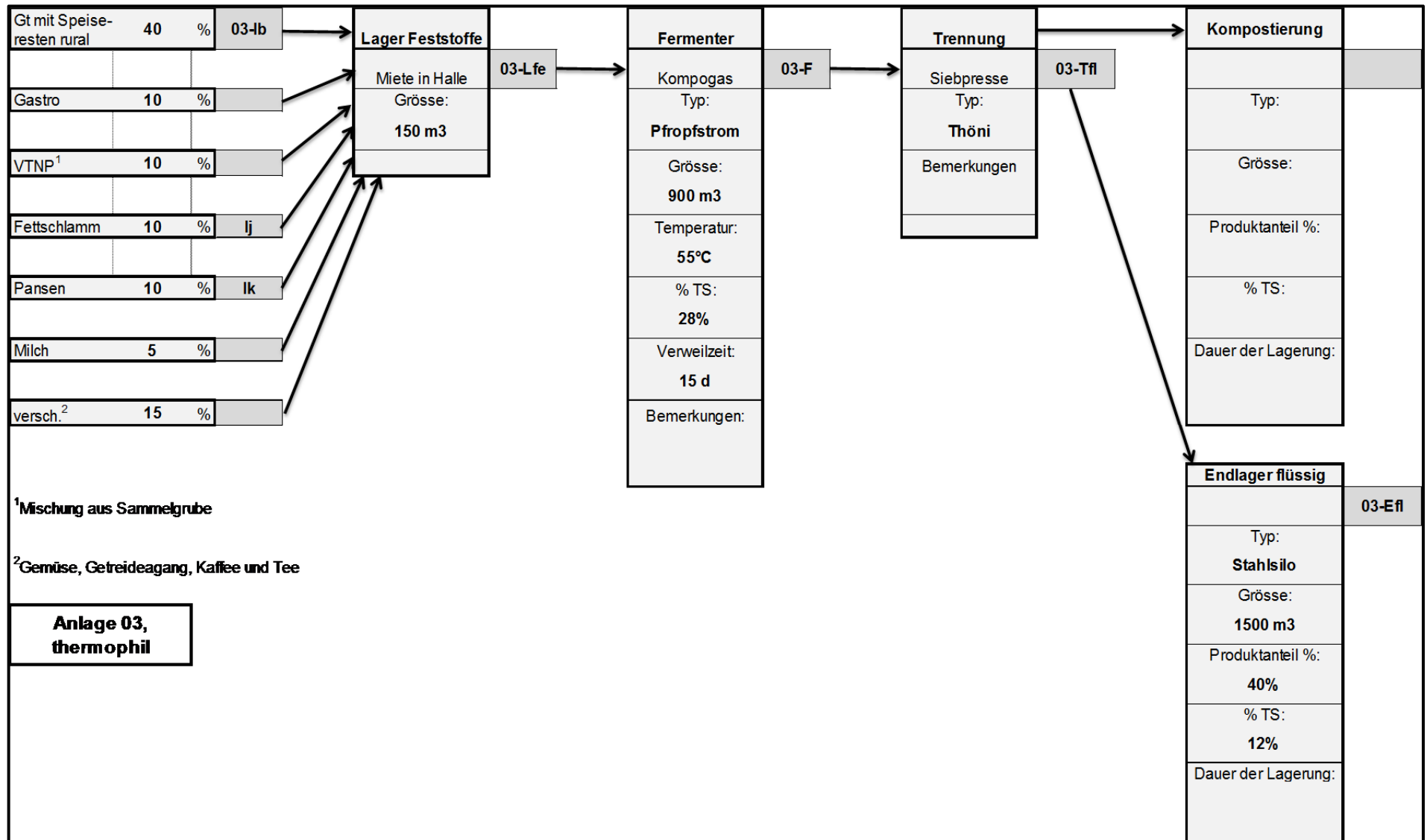


Fig. A3a. Beschreibung der Anlage 03 (thermophil).

Anlage Typ Kompogas (mit Typenbewilligung vom BVET: thermische Vorbehandlung für TNP nicht nötig)

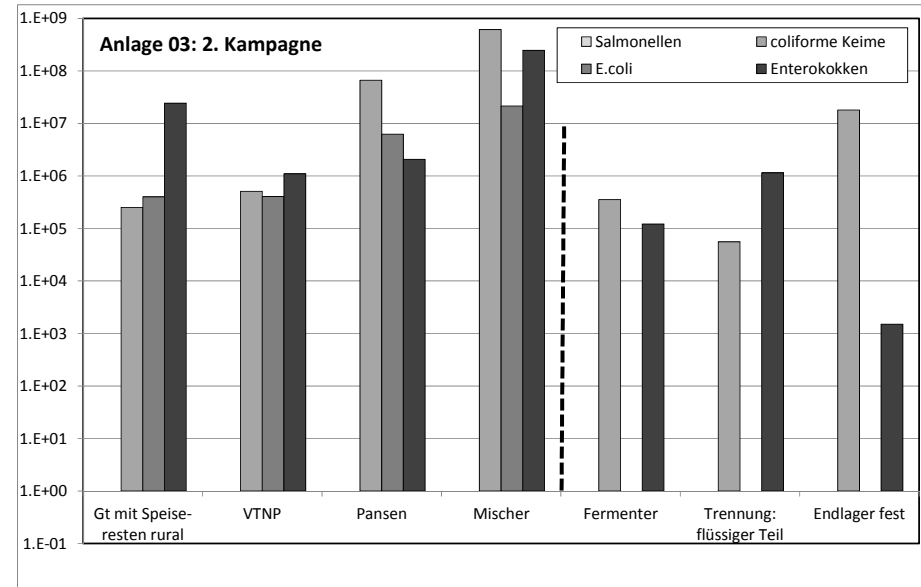
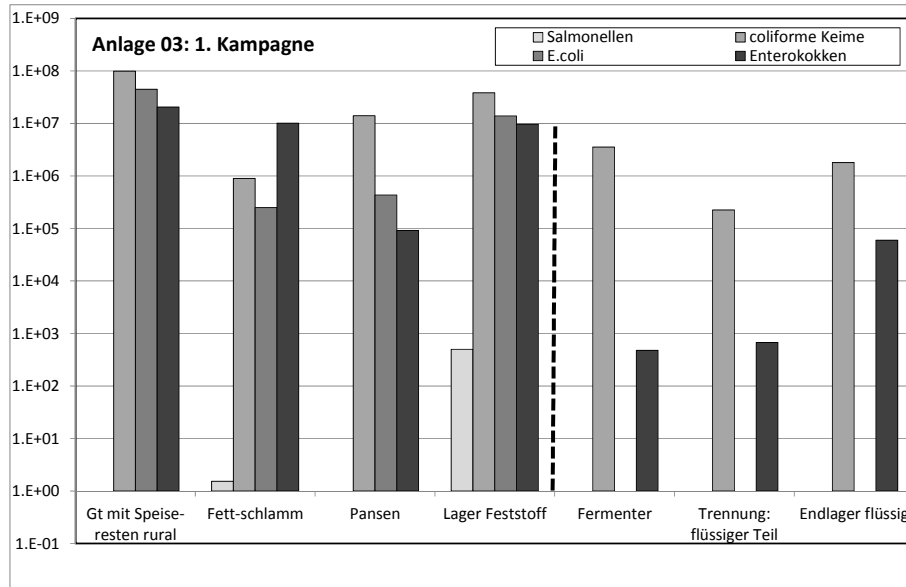
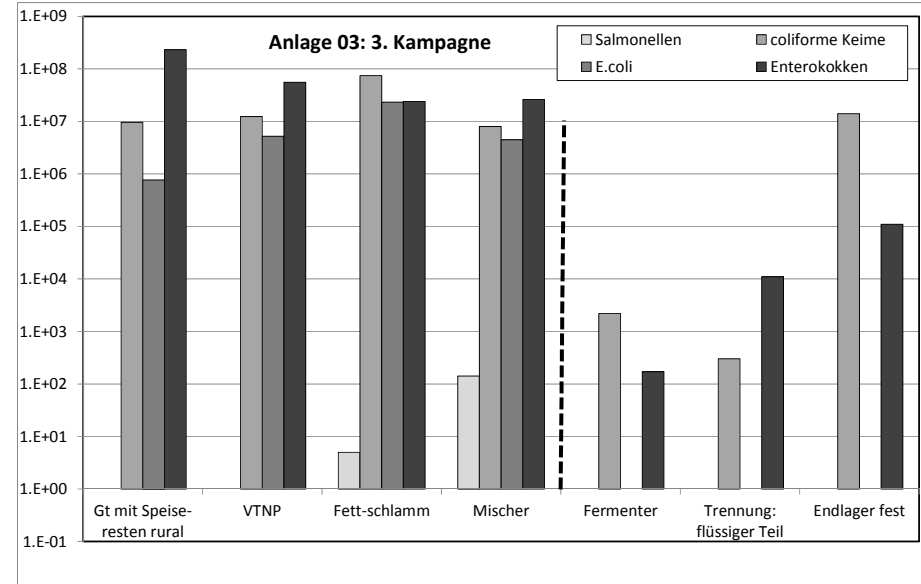


Fig. A3b. Keimpopulationen in den verschiedenen Inputmaterialien und Produkten der Anlage 03 (thermophil).
Kein Balken: Organismus nicht nachweisbar.



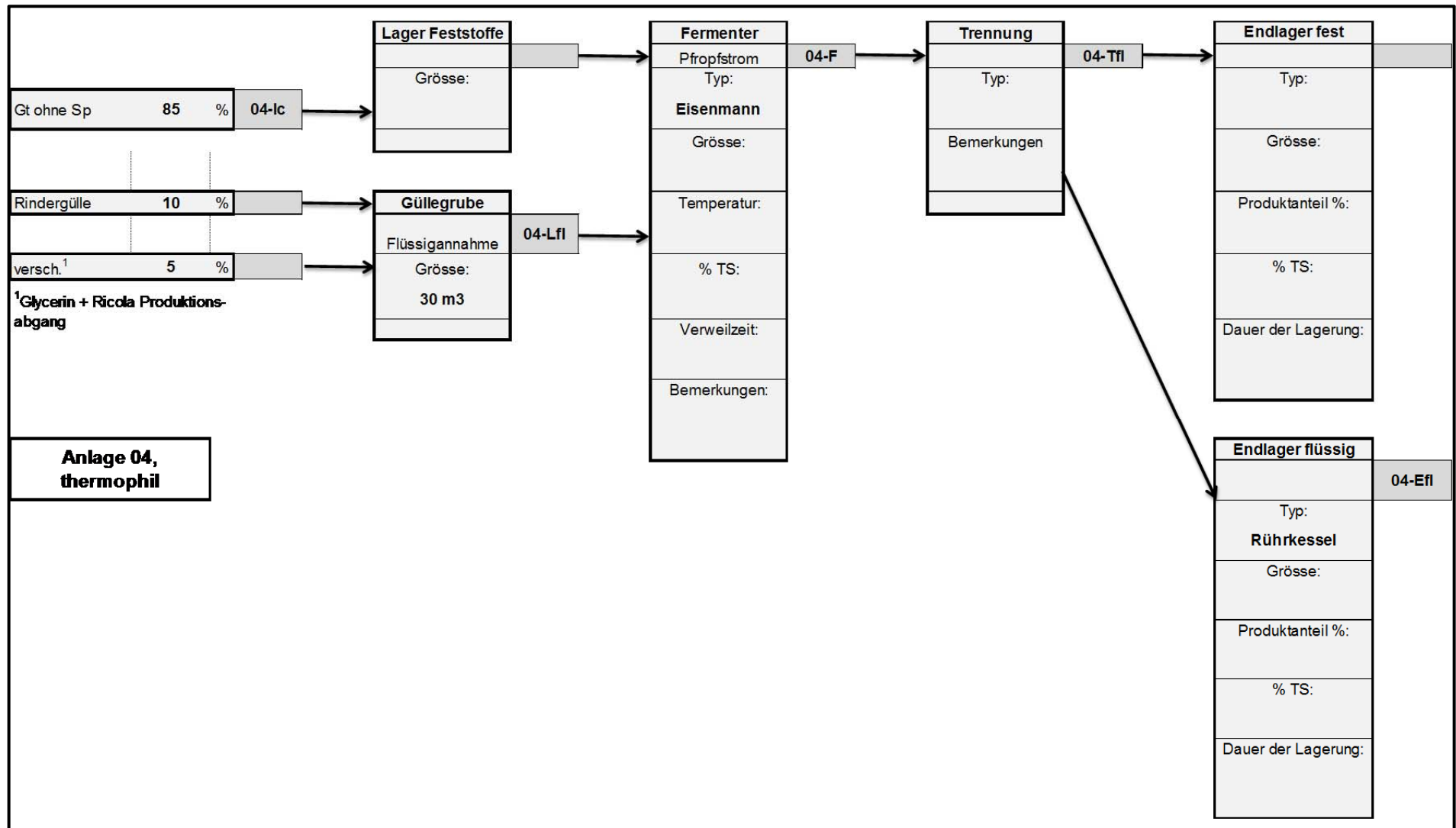


Fig. A4a. Beschreibung der Anlage 04 (thermophil).
Anlagentyp Eisenmann

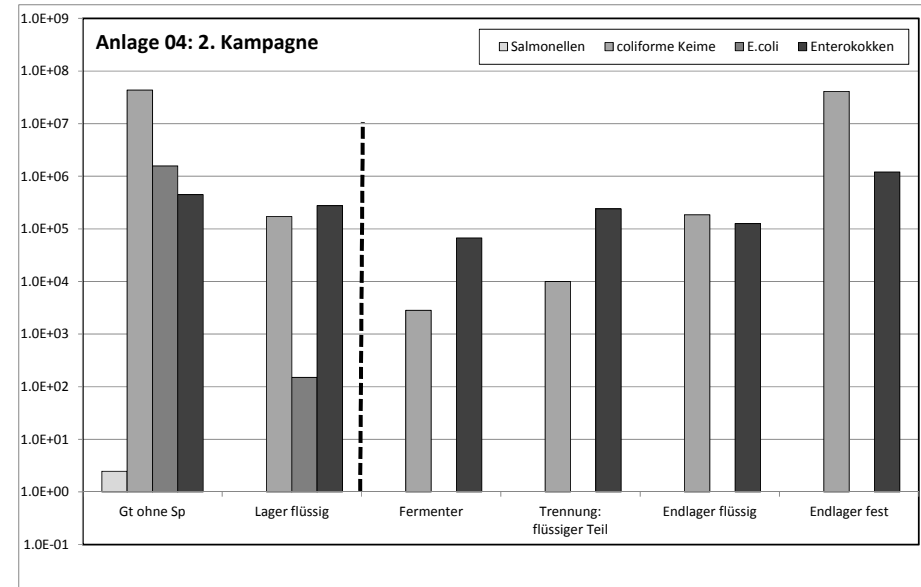
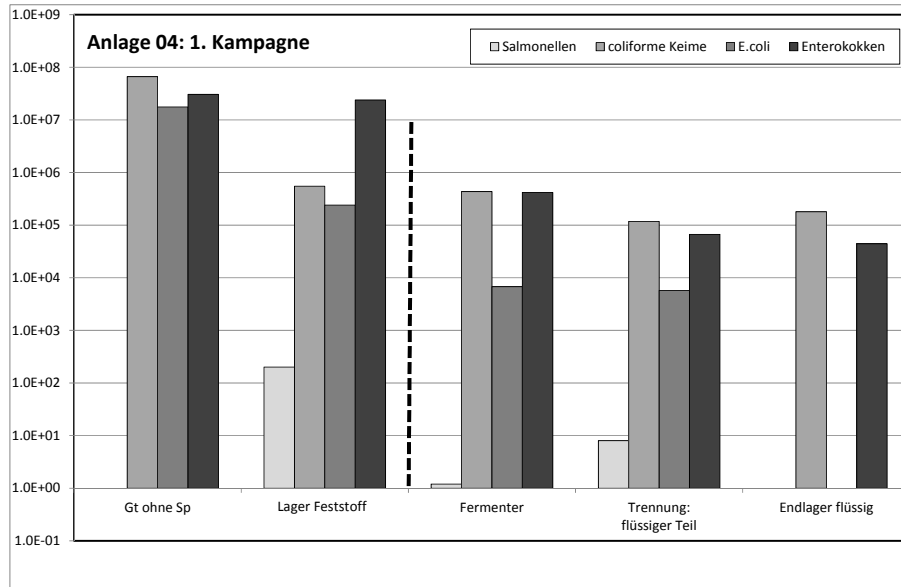
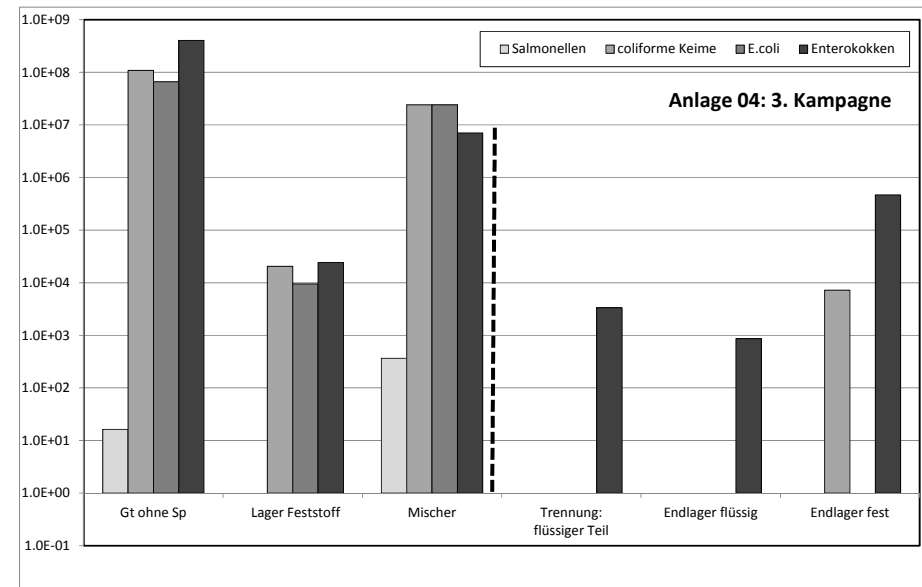


Fig. A4b. Keimpopulationen in den verschiedenen Inputmaterialien und Produkten der Anlage 04 (thermophil).
Kein Balken: Organismus nicht nachweisbar.



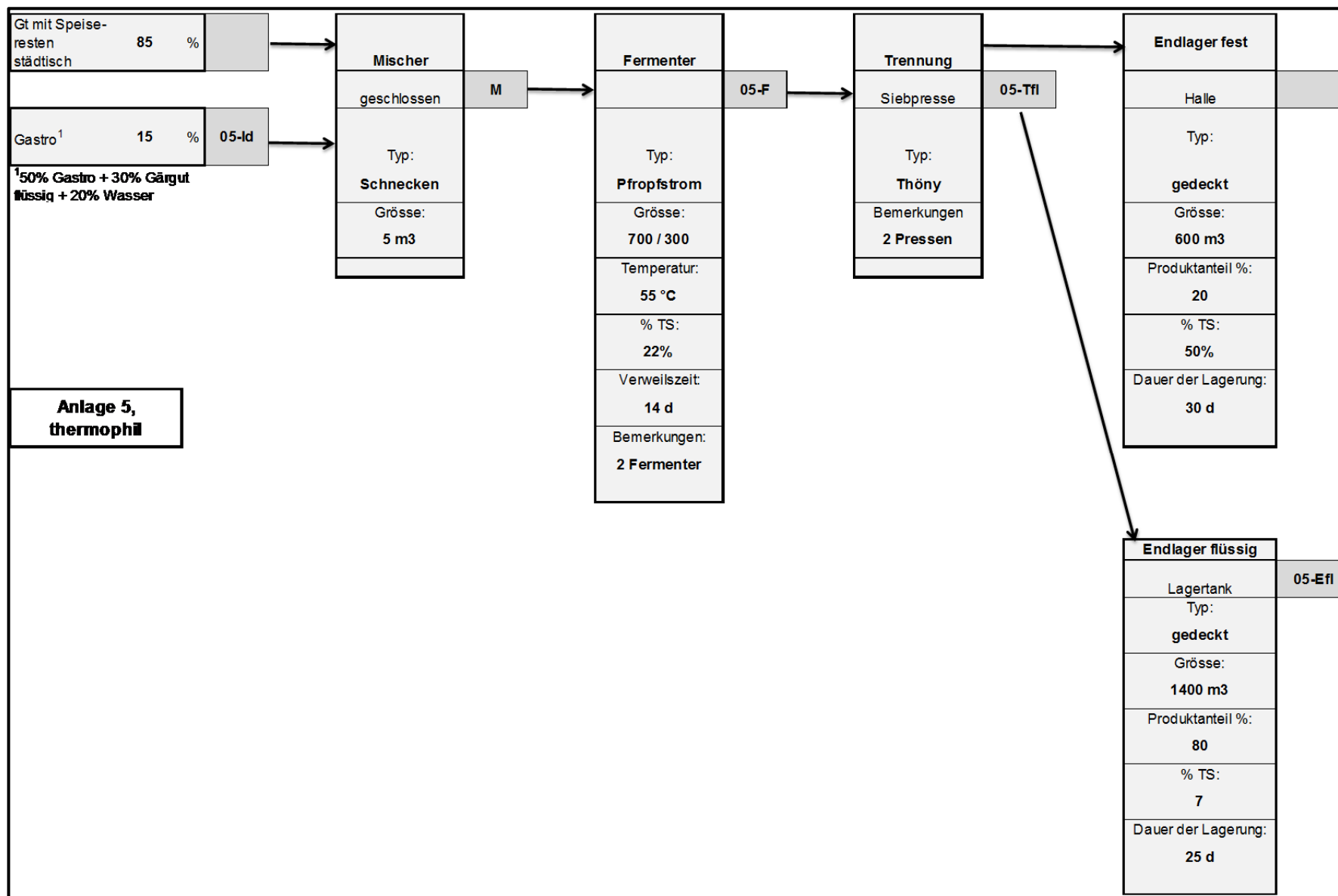


Fig. A5a. Beschreibung der Anlage 05 (thermophil).

Anlage Typ Kompogas (mit Typenbewilligung vom BVET: thermische Vorbehandlung für TNP nicht nötig)

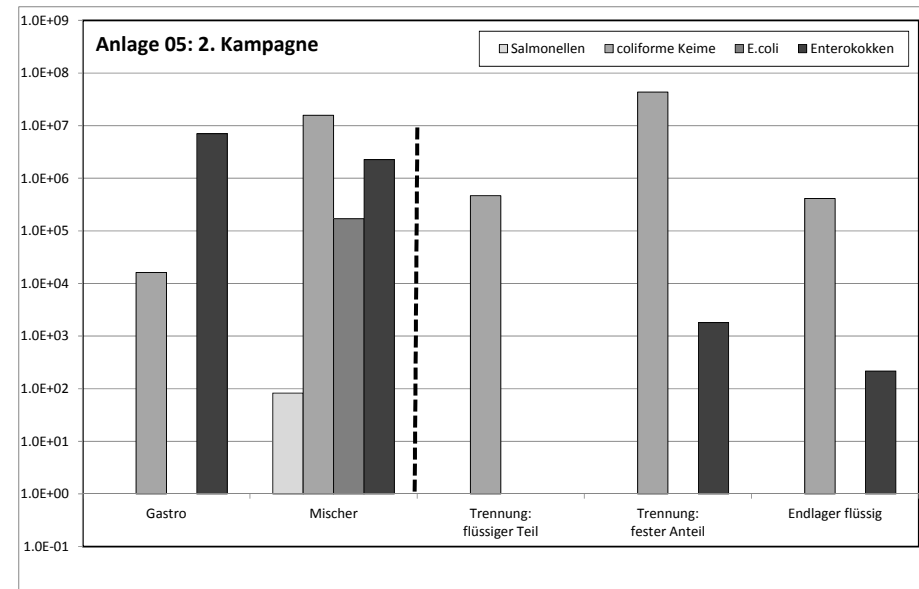
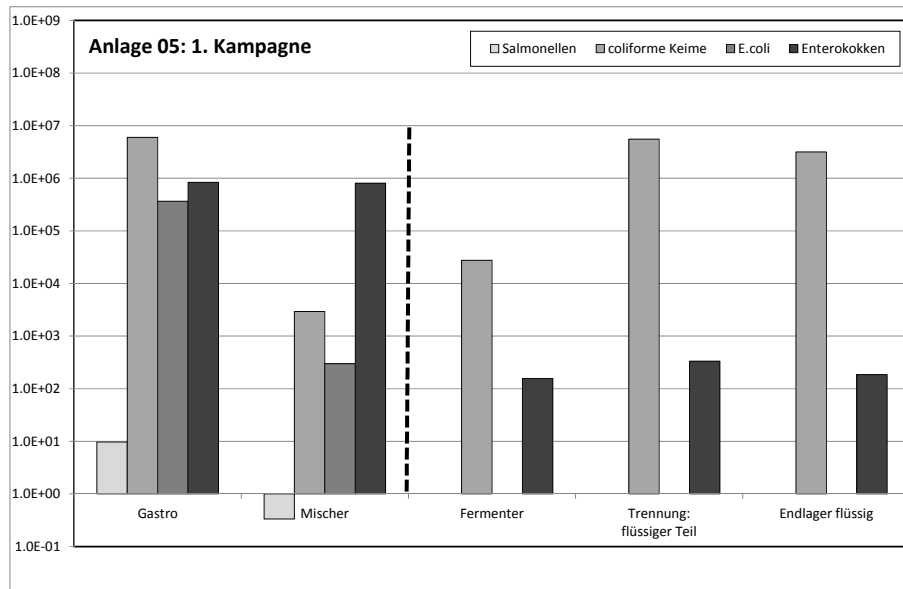
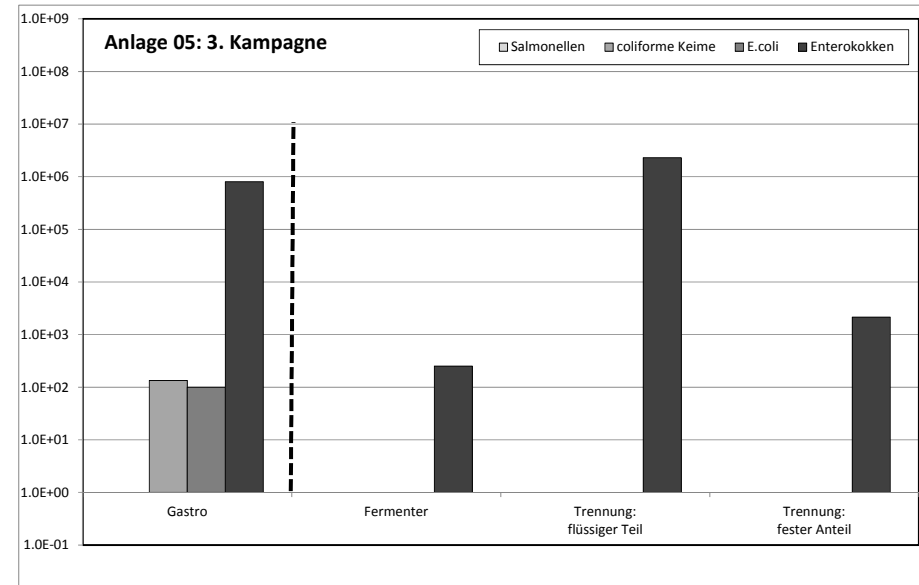


Fig. A5b. Keimpopulationen in den verschiedenen Inputmaterialien und Produkten der Anlage 05 (thermophil).
Kein Balken: Organismus nicht nachweisbar.



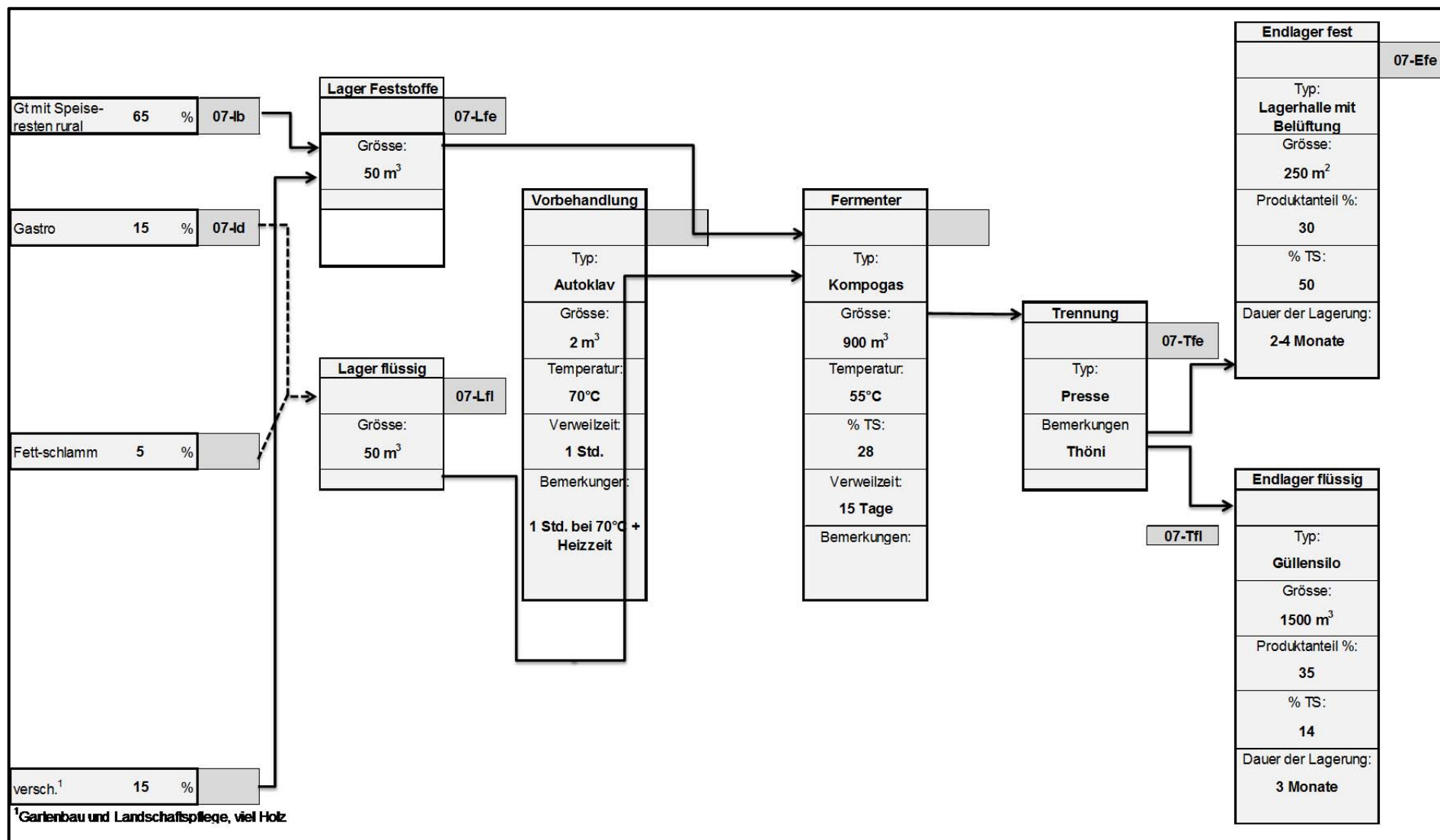
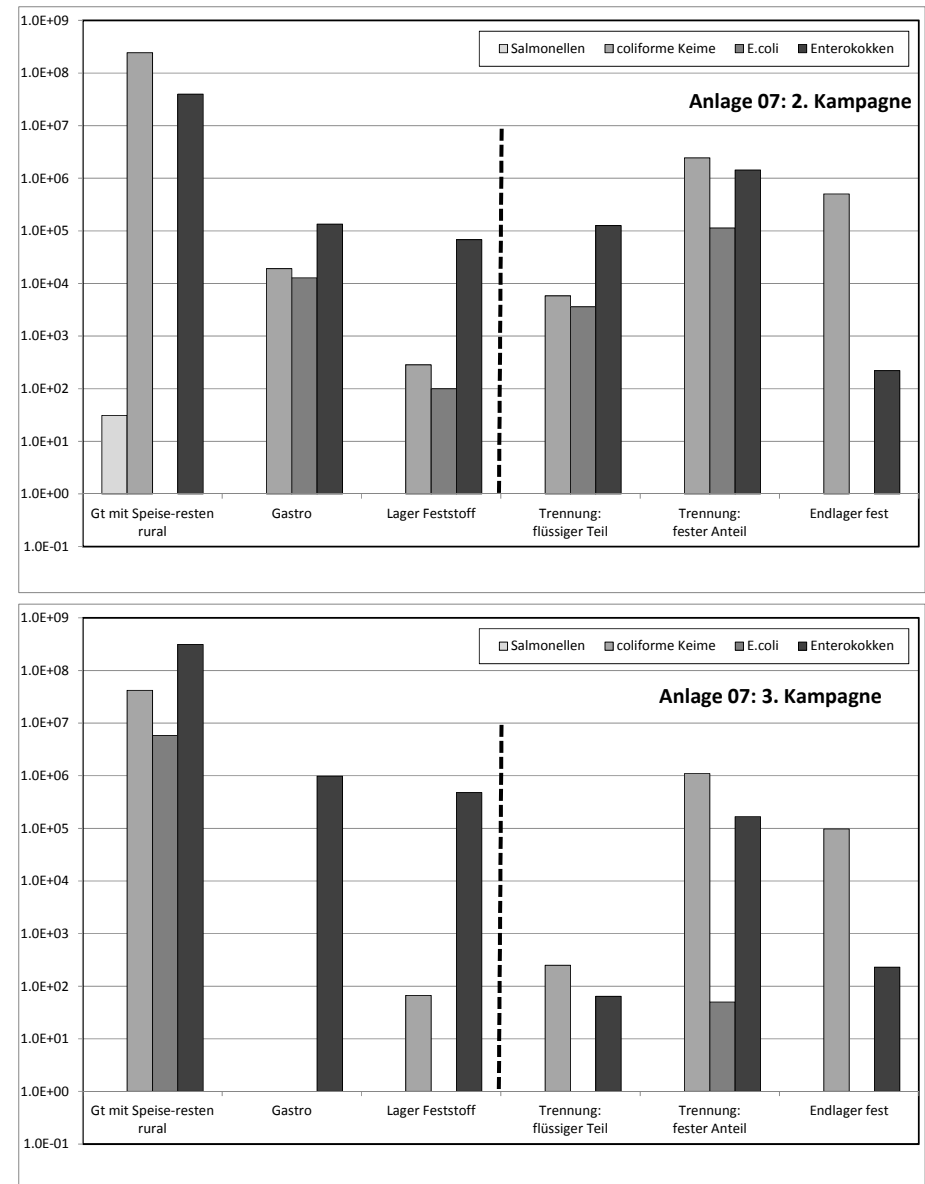


Fig. A6a. Beschreibung der Anlage 07 (thermophil).

Anlage Typ Kompogas (mit Typenbewilligung vom BVET: thermische Vorbehandlung für TNP nicht nötig, wird aber gemacht)

Fig. A6b. Keimpopulationen in den verschiedenen Inputmaterialien und Produkten der Anlage 07 (thermophil).
Kein Balken: Organismus nicht nachweisbar.



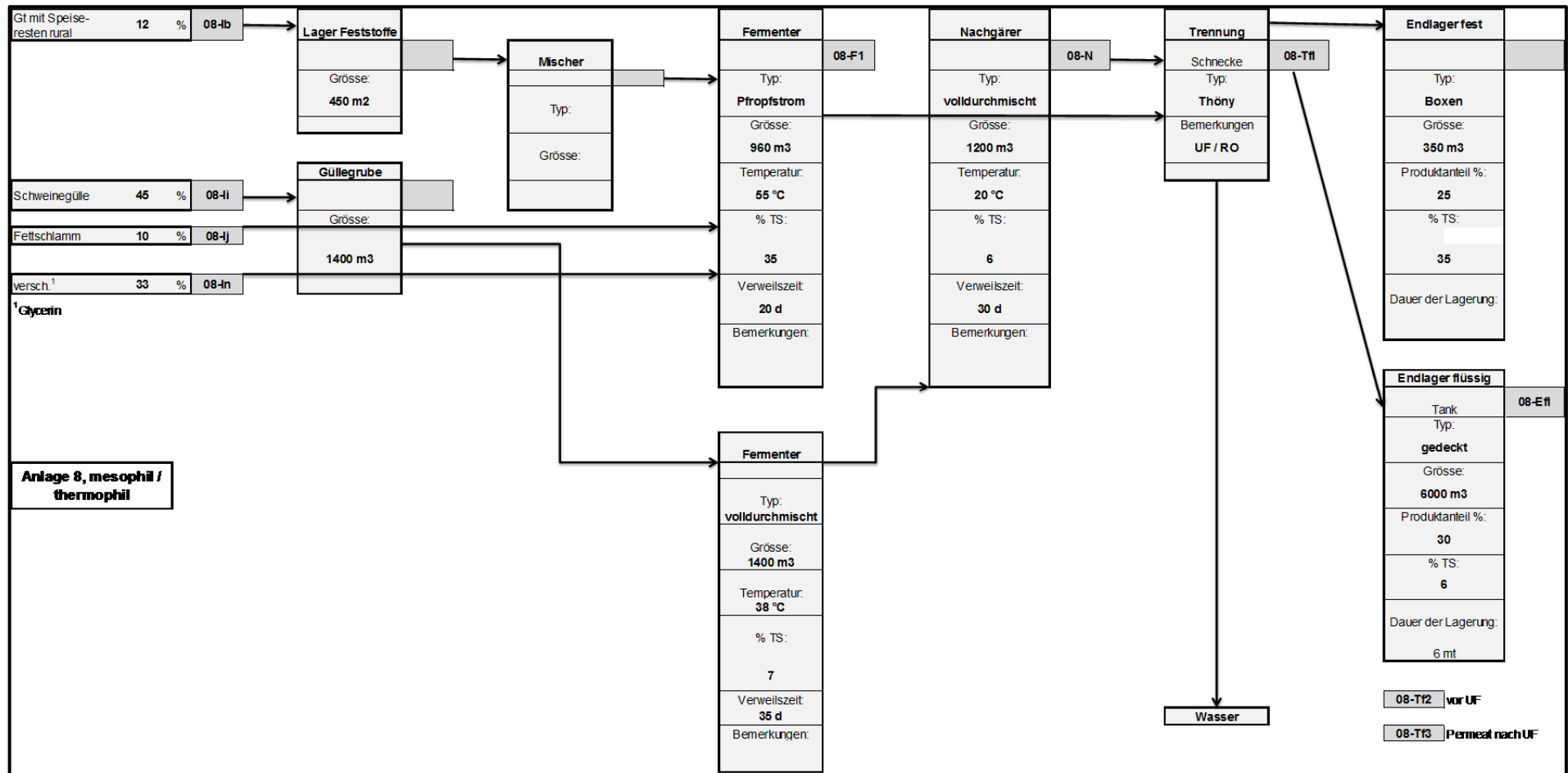


Fig. A7a. Beschreibung der Anlage 08 (mesophil / thermophil).
Thermophile Anlage Typ Kompogas (mit Typenbewilligung vom BVET: thermische Vorbehandlung für TNP nicht nötig, wird aber gemacht)

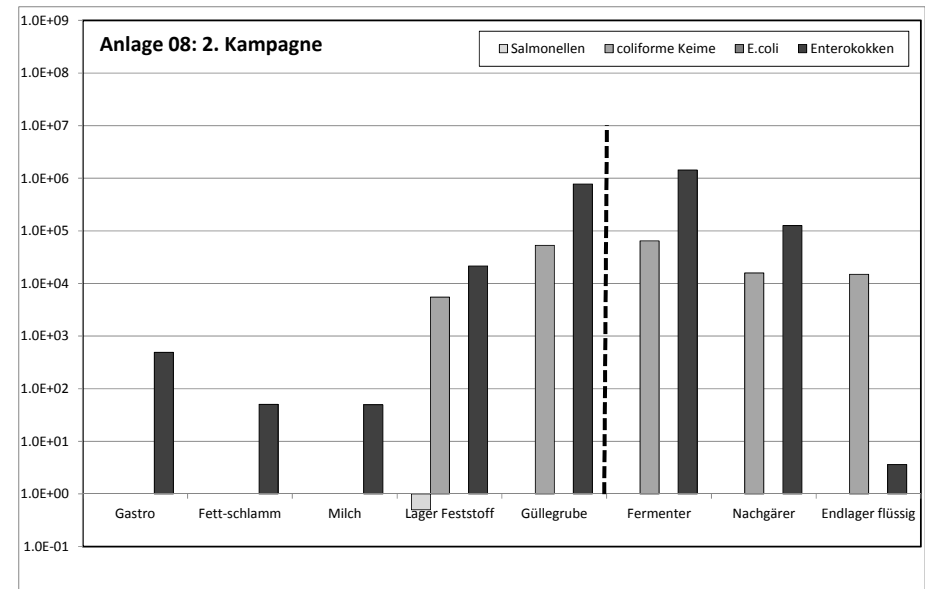
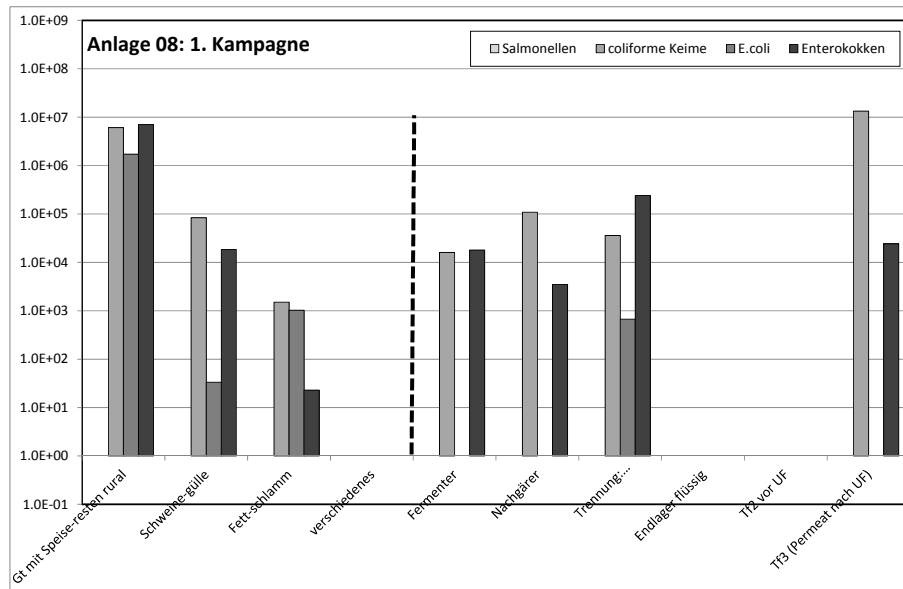
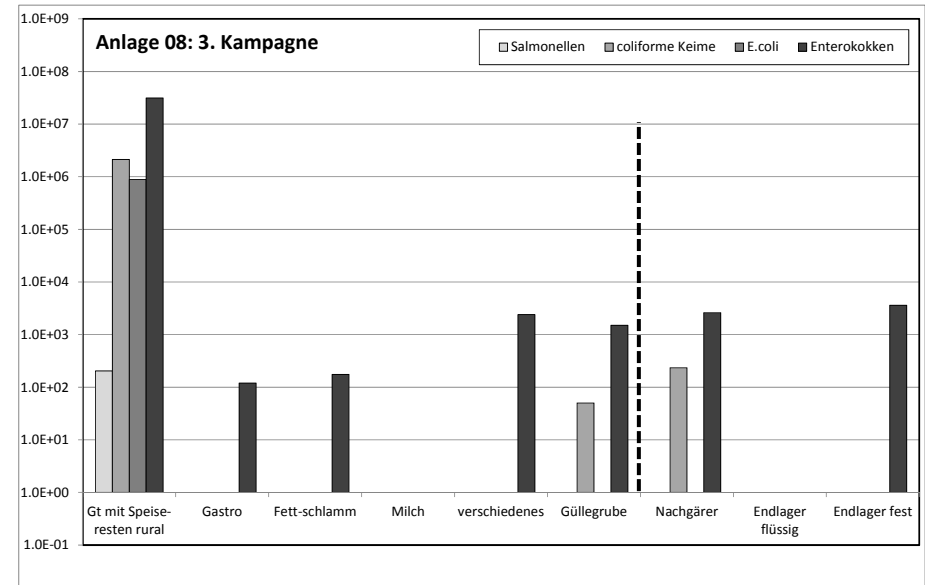


Fig. A7b. Keimpopulationen in den verschiedenen Inputmaterialien und Produkten der Anlage 08 (mesophil / thermophil).
Kein Balken: Organismus nicht nachweisbar.



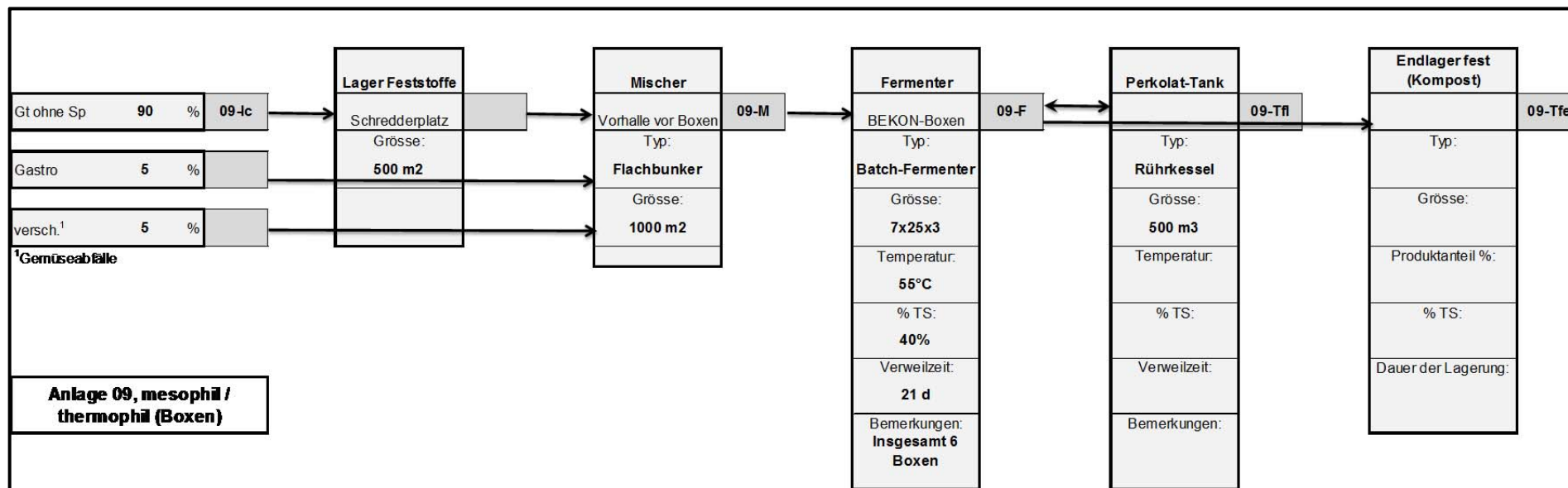


Fig. A8a. Beschreibung der Anlage 09 (mesophil / thermophil).

Anlage Typ BEKON mit Typenbewilligung vom BVET. Perkolat wird nicht in der Landwirtschaft abgegeben, sondern wird rezirkuliert. Gärgut wird nach dem Fermenter nicht direkt in der Landwirtschaft ausgebracht, sondern erst nach einer Nachkompostierung (Endlager fest = Kompost).

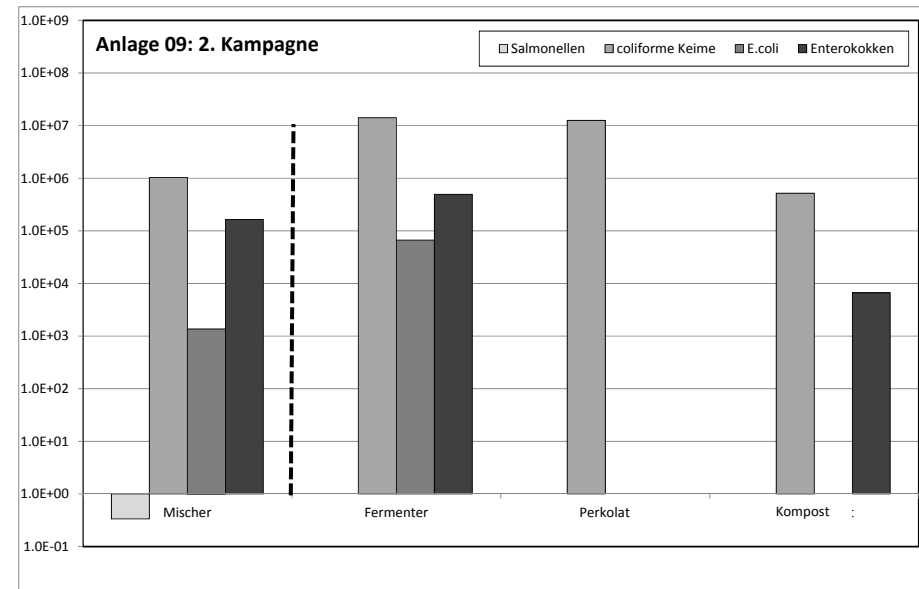
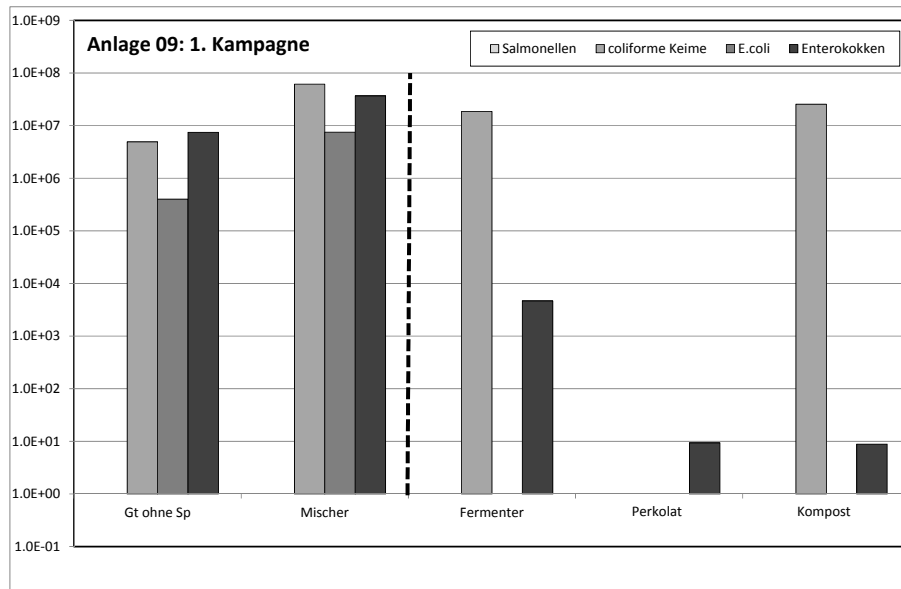
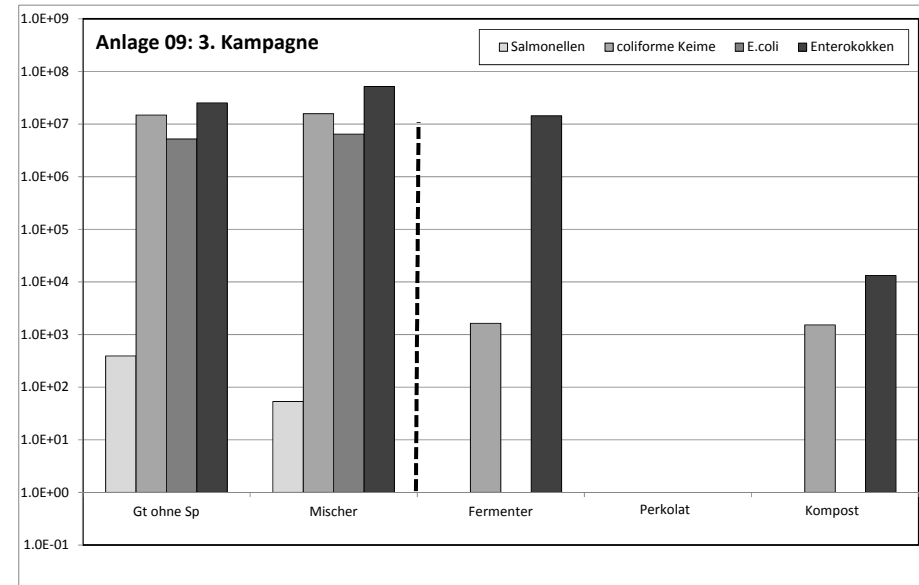


Fig. A8b. Keimpopulationen in den verschiedenen Inputmaterialien und Produkten der Anlage 09 (mesophil / thermophil).

Kein Balken: Organismus nicht nachweisbar.

Bemerkung: bei der 2. Kampagne war in der Halle das Gärgut aus dem Fermenter im Kontakt mit frischem Material, was möglicherweise zur Rekontamination des Gärguts geführt hat. Das Gärgut wurde jedoch erst nach einer Postkompostierung in der Landwirtschaft gestreut.



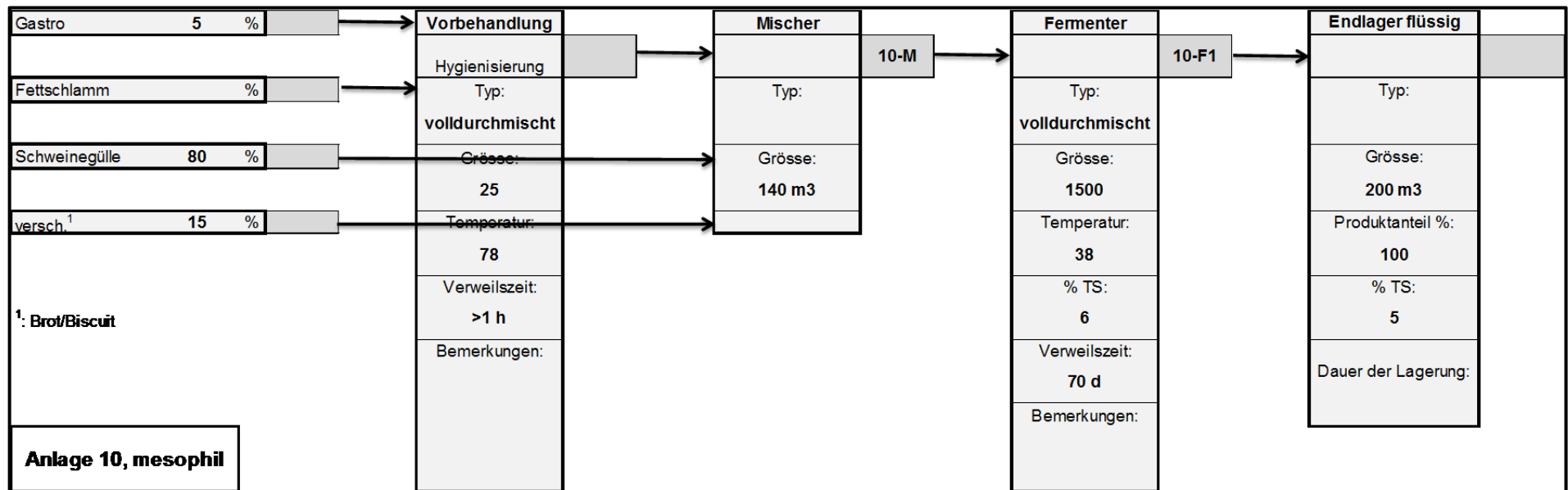


Fig. A9a. Beschreibung der Anlage 10 (mesophil).

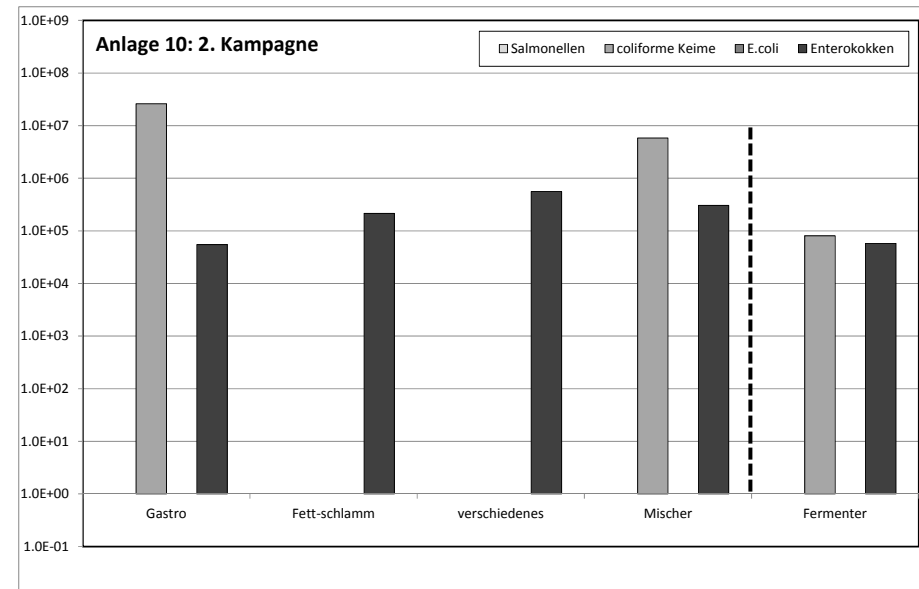
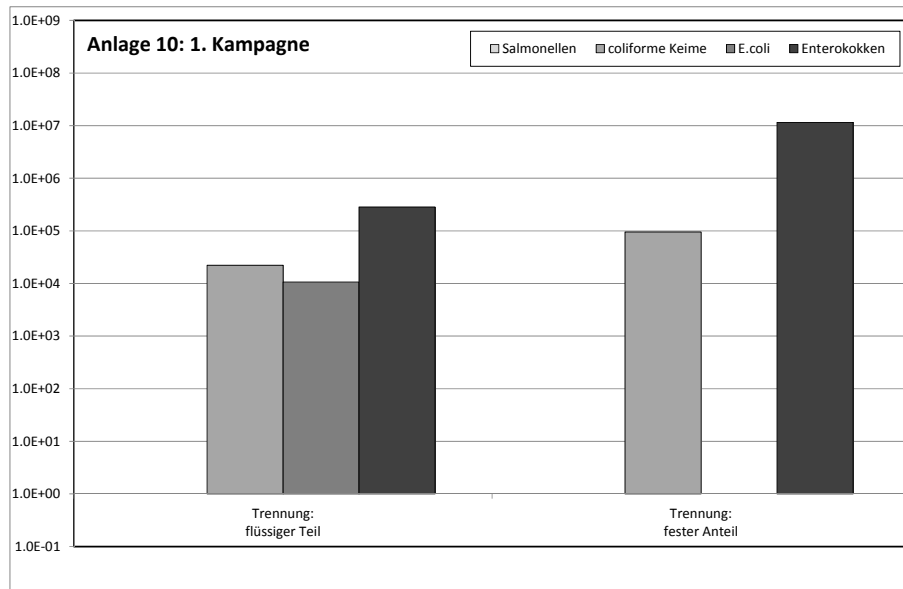
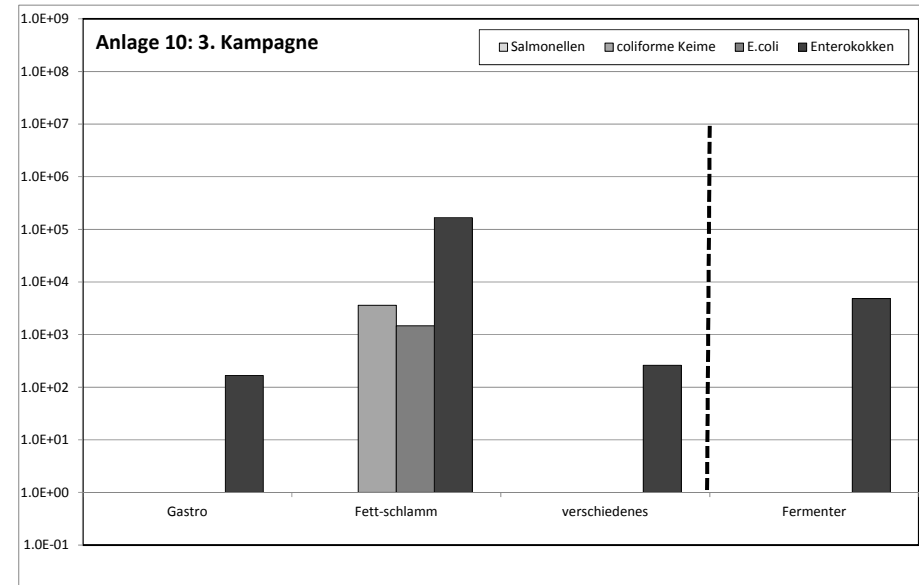


Fig. A9b. Keimpopulationen in den verschiedenen Inputmaterialien und Produkten der Anlage 10 (mesophil).
Kein Balken: Organismus nicht nachweisbar.



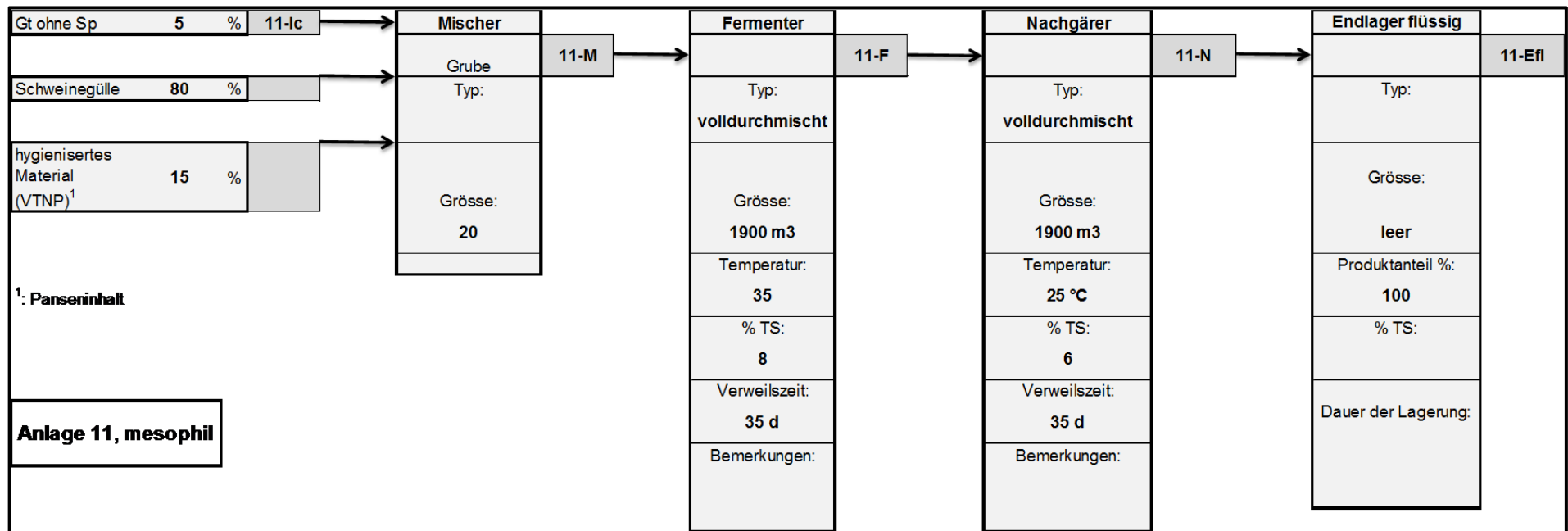


Fig. A10a. Beschreibung der Anlage 11 (mesophil).

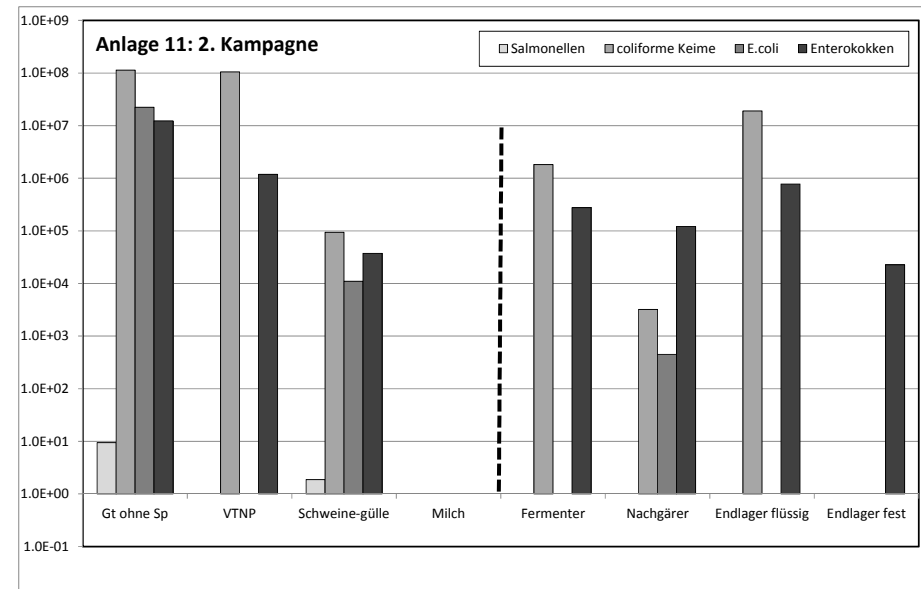
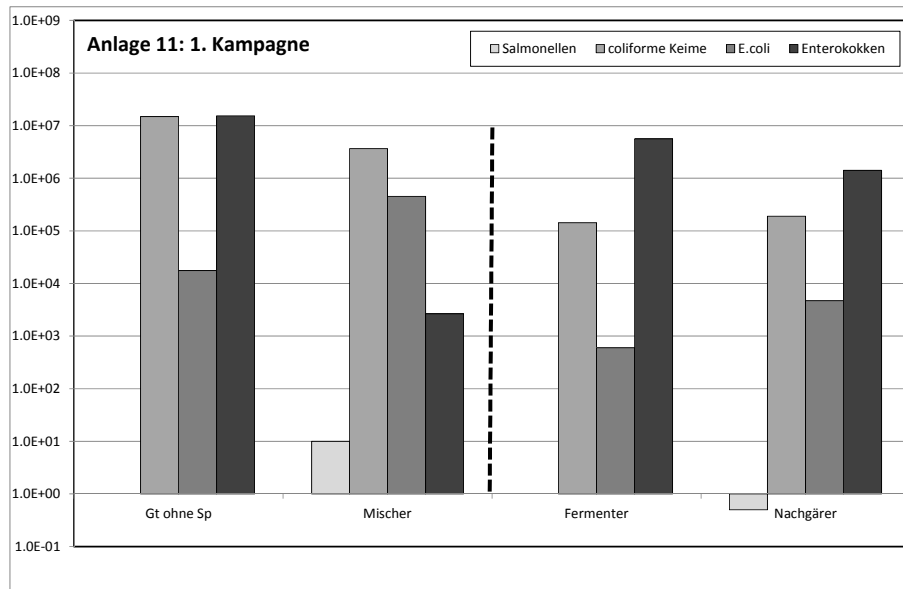
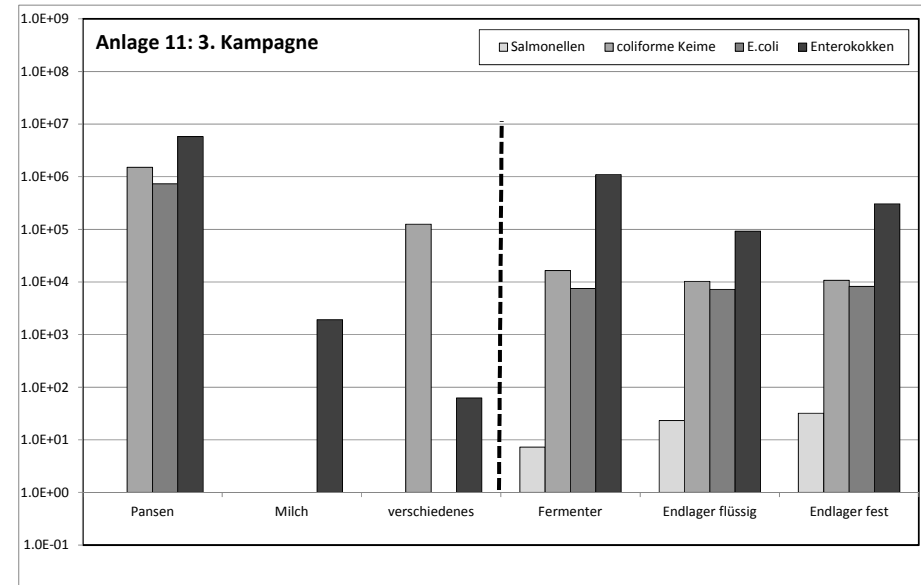


Fig. A10b. Keimpopulationen in den verschiedenen Inputmaterialien und Produkten der Anlage 11 (mesophil).
Kein Balken: Organismus nicht nachweisbar.



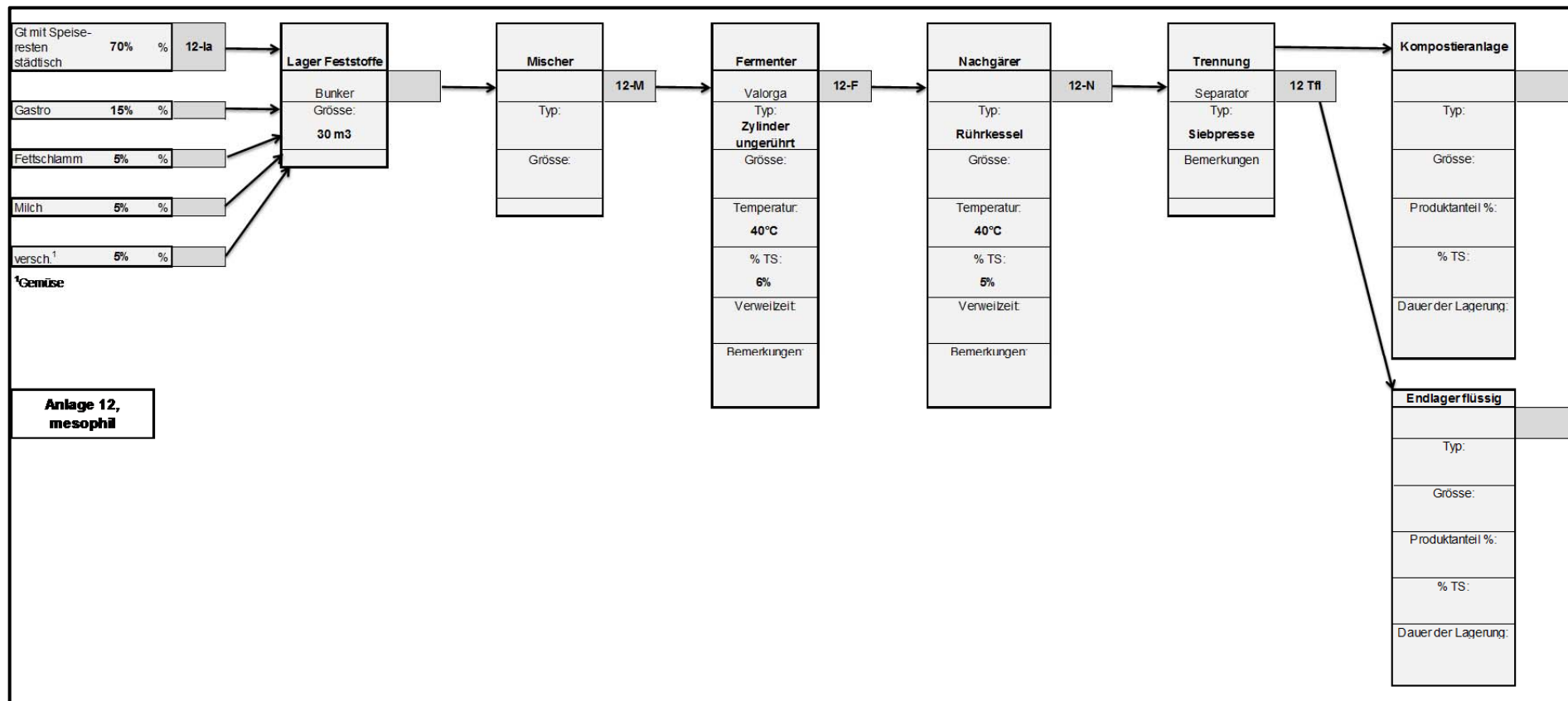


Fig. A11a. Beschreibung der Anlage 12 (mesophil).

Das feste Gärgut wird erst nach der Kompostierung aufs Feld ausgebracht. Das flüssige Gärgut wird über die ARA entsorgt.

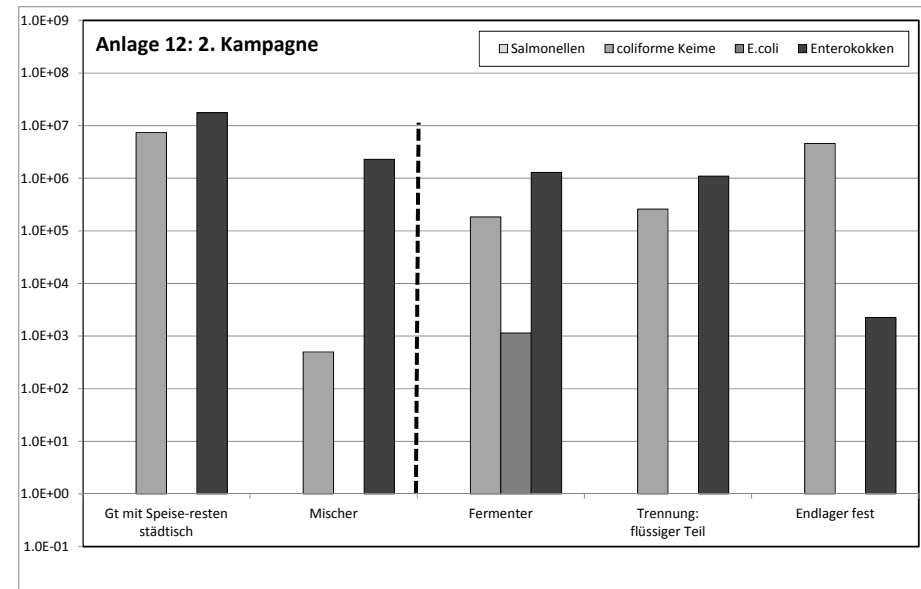
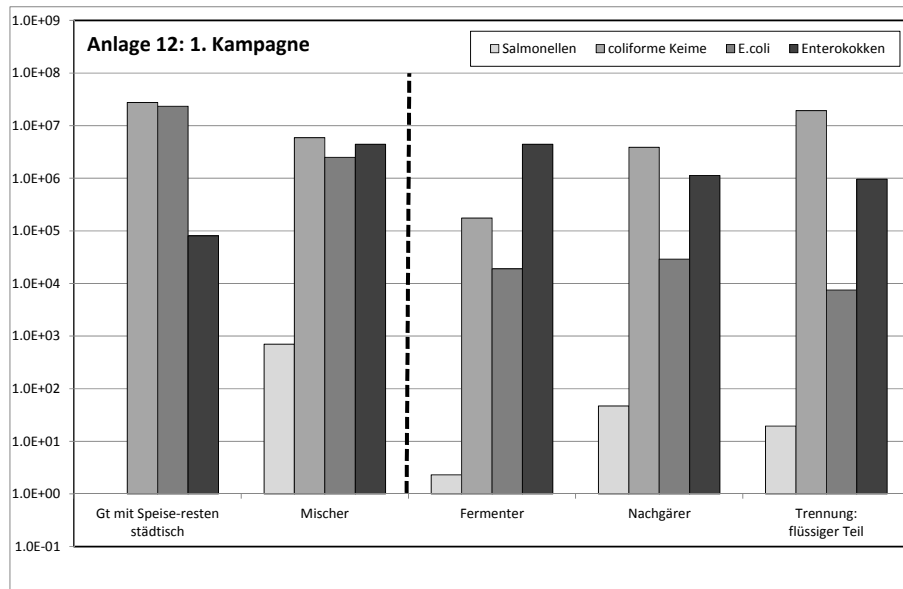
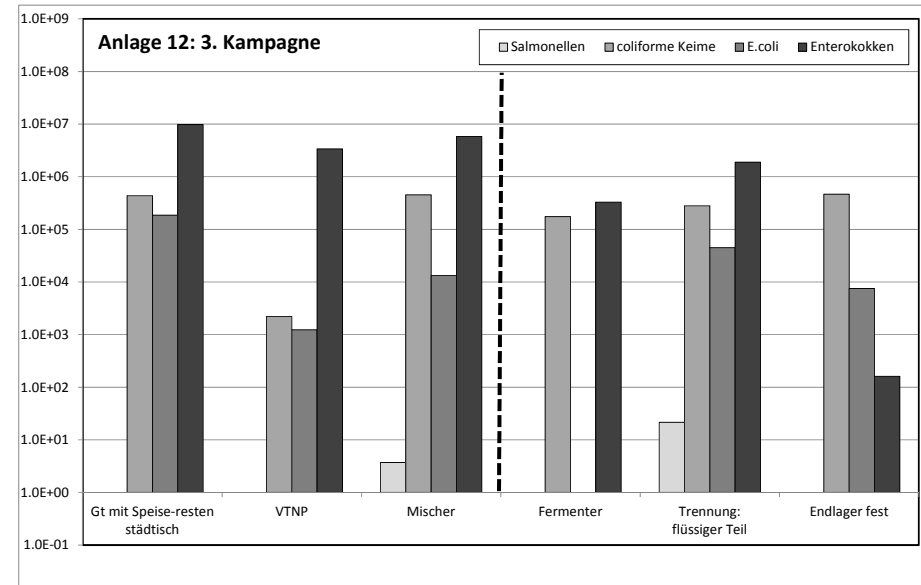


Fig. A11b. Keimpopulationen in den verschiedenen Inputmaterialien und Produkten der Anlage 12 (mesophil).
Kein Balken: Organismus nicht nachweisbar.



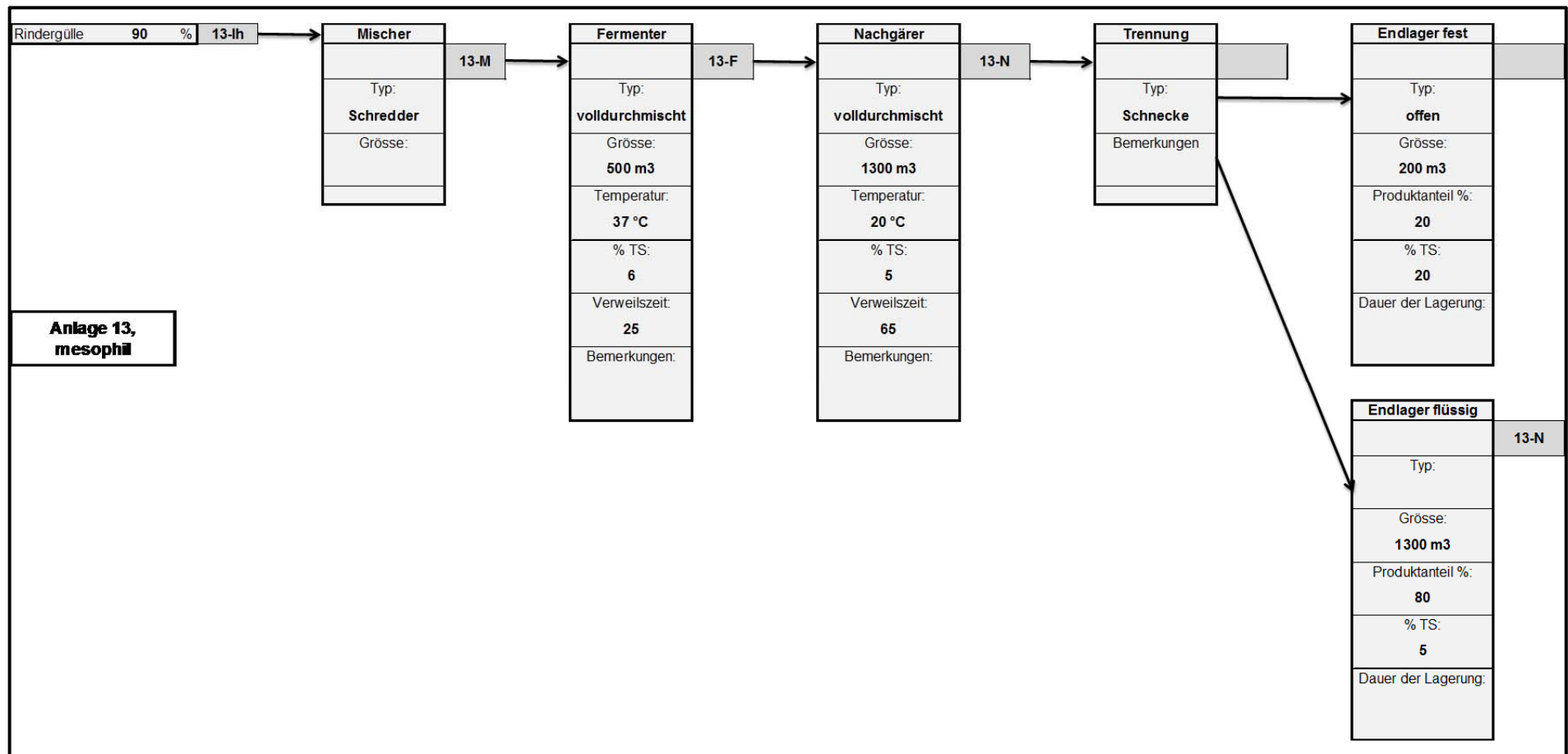


Fig. A12a. Beschreibung der Anlage 13 (mesophil).

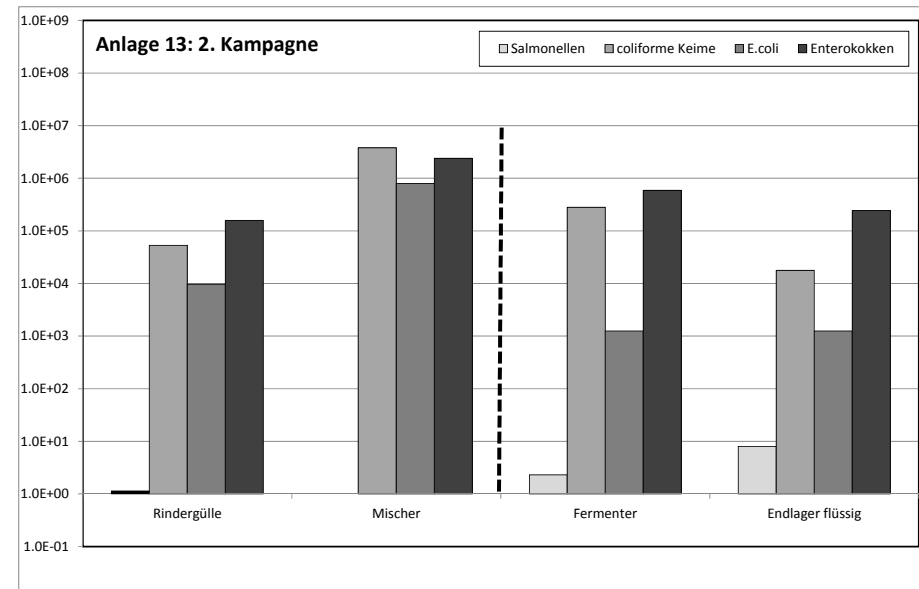
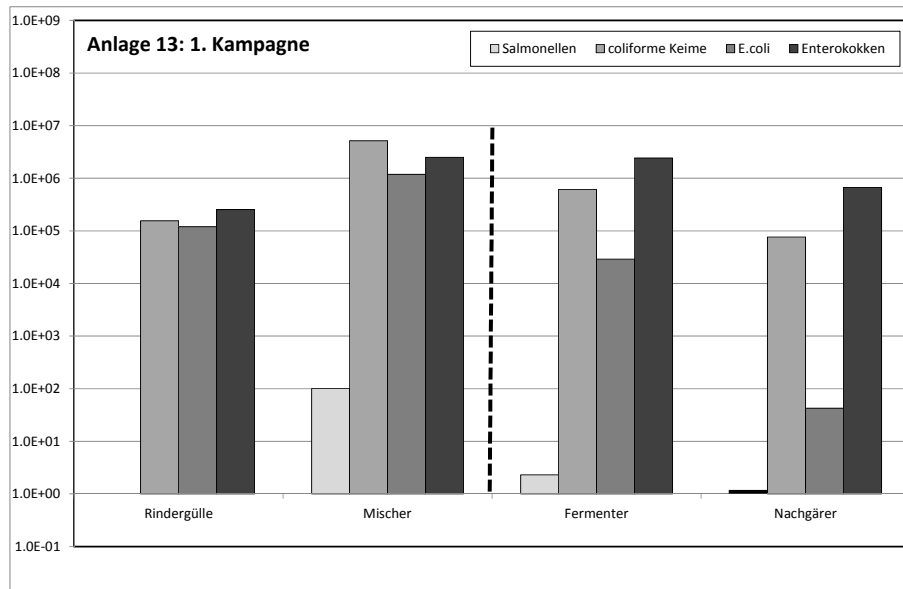
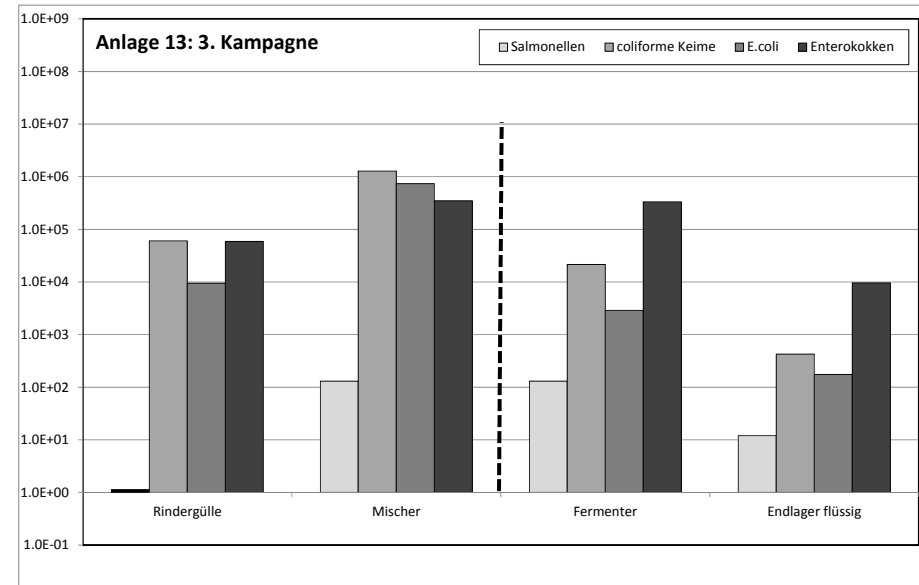


Fig. A12b. Keimpopulationen in den verschiedenen Inputmaterialien und Produkten der Anlage 13 (mesophil).
Kein Balken: Organismus nicht nachweisbar.



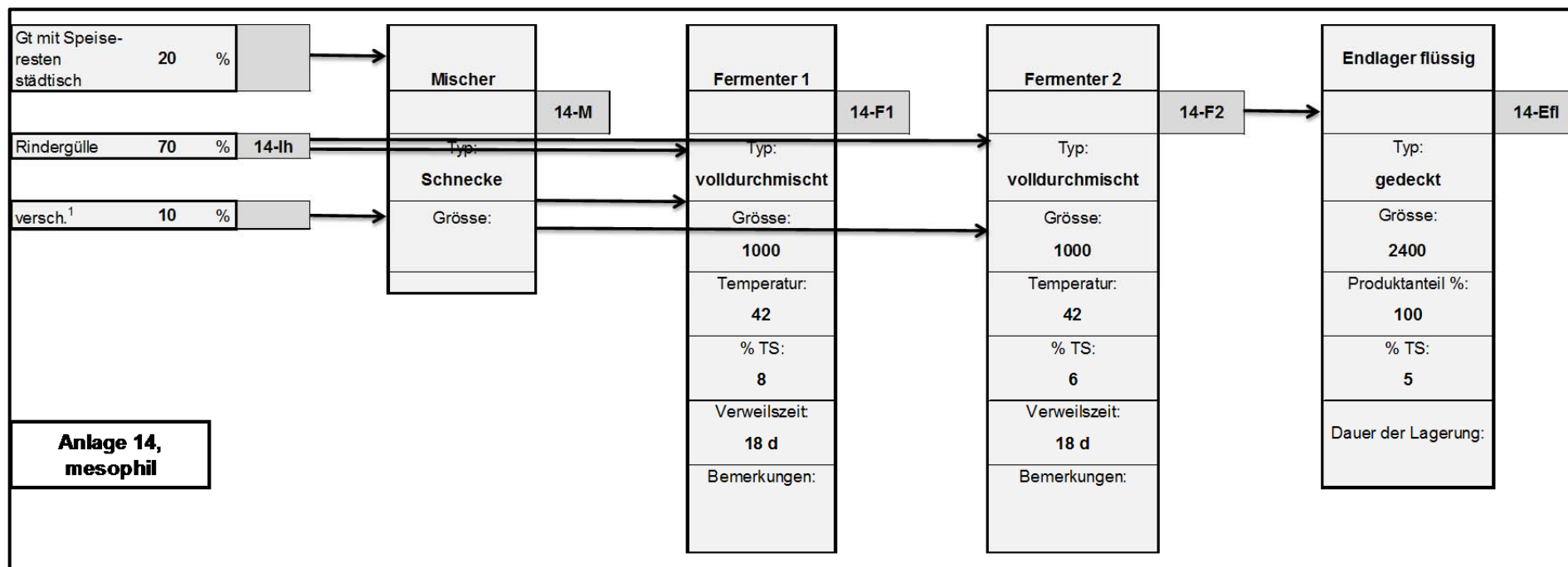


Fig. A13a. Beschreibung der Anlage 14 (mesophil).

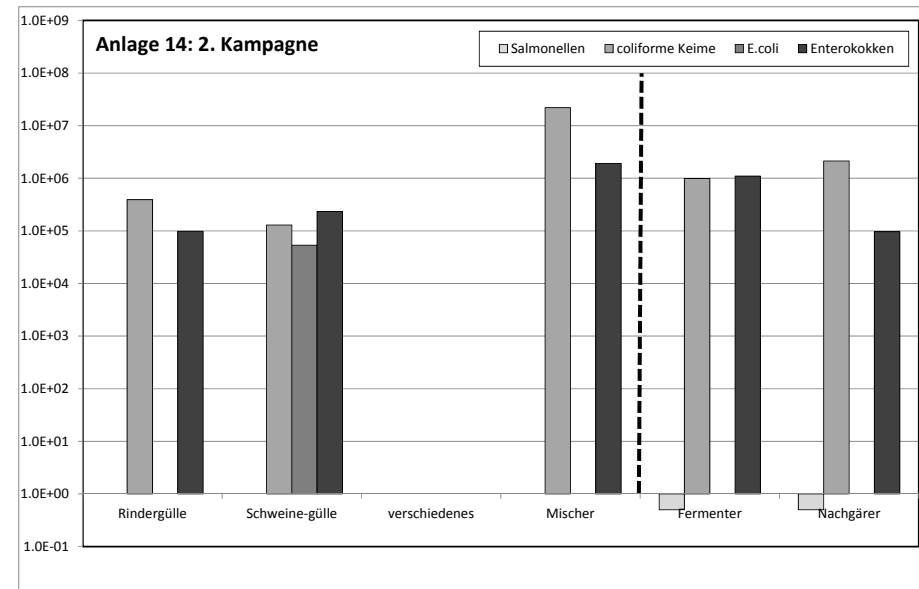
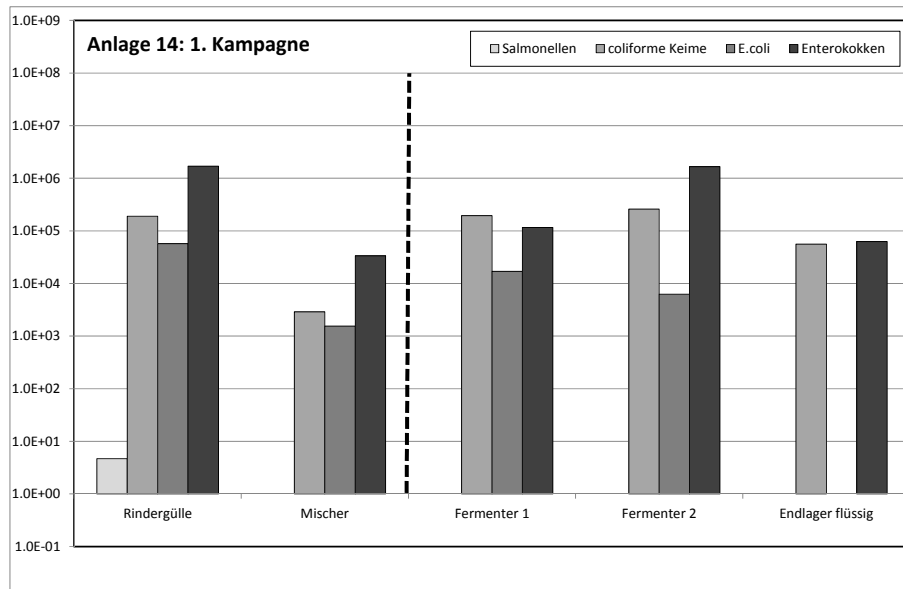
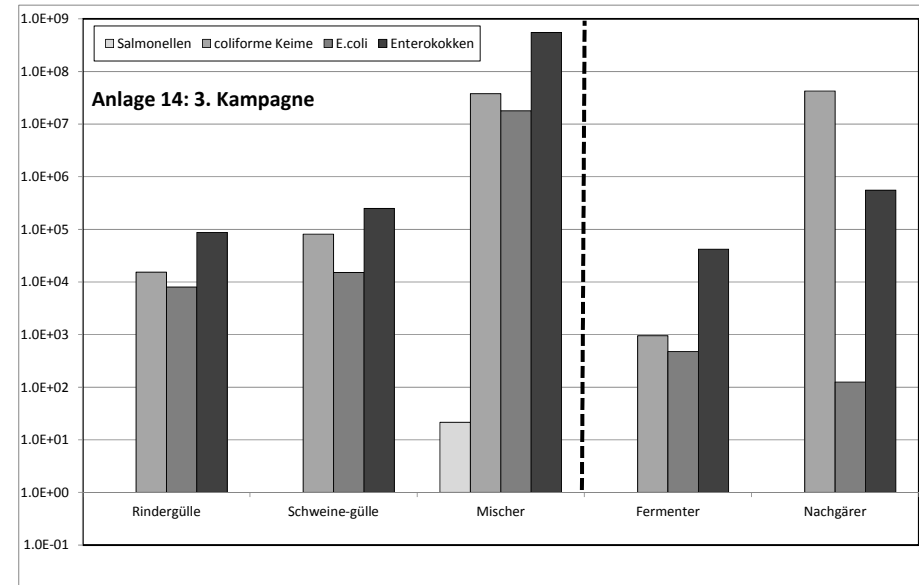


Fig. A13b. Keimpopulationen in den verschiedenen Inputmaterialien und Produkten der Anlage 14 (mesophil).
Kein Balken: Organismus nicht nachweisbar.



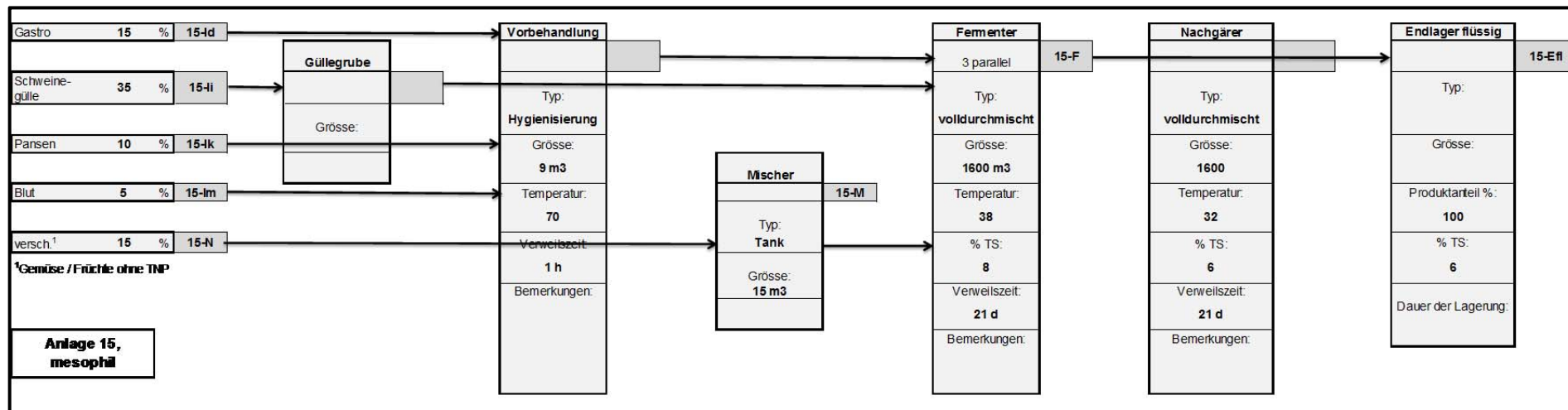


Fig. A14a. Beschreibung der Anlage 15 (mesophil).

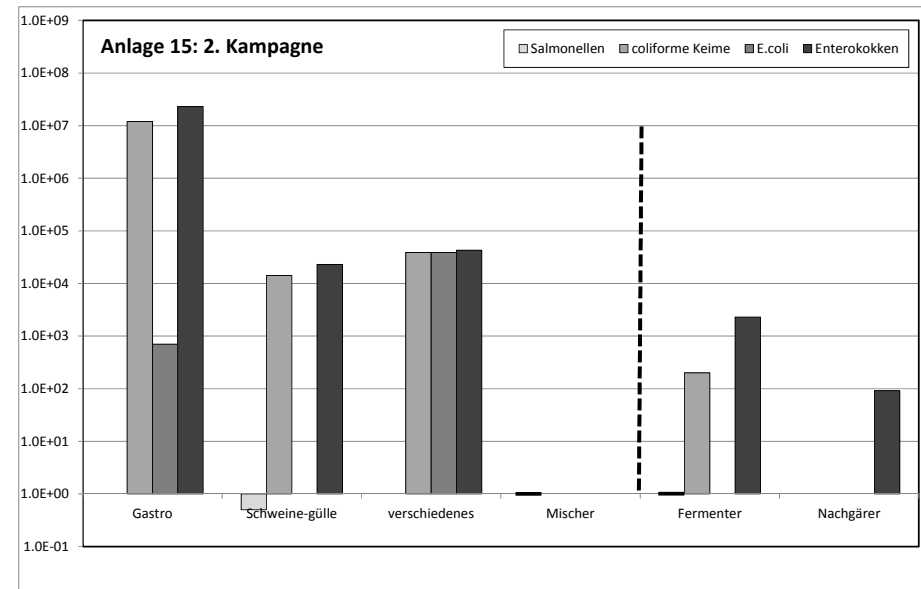
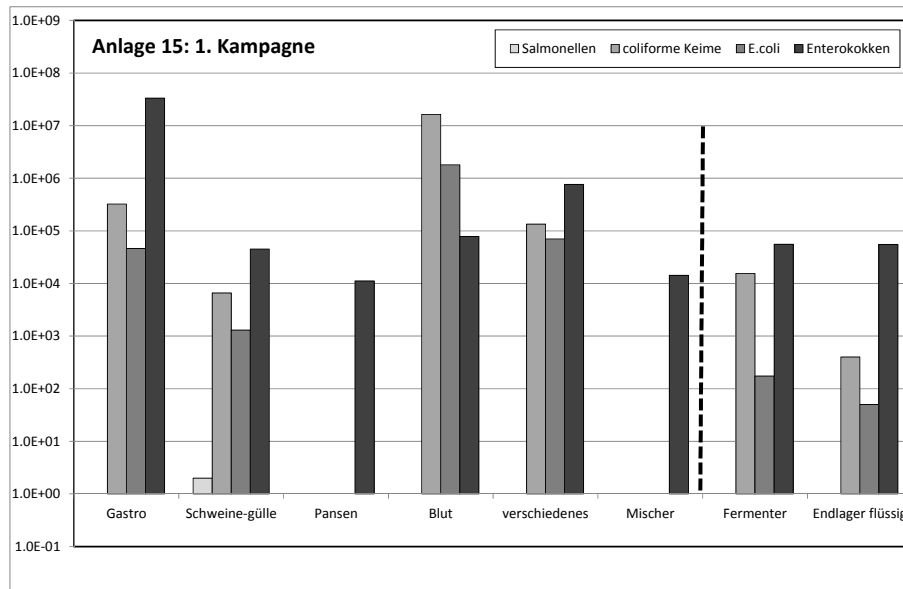
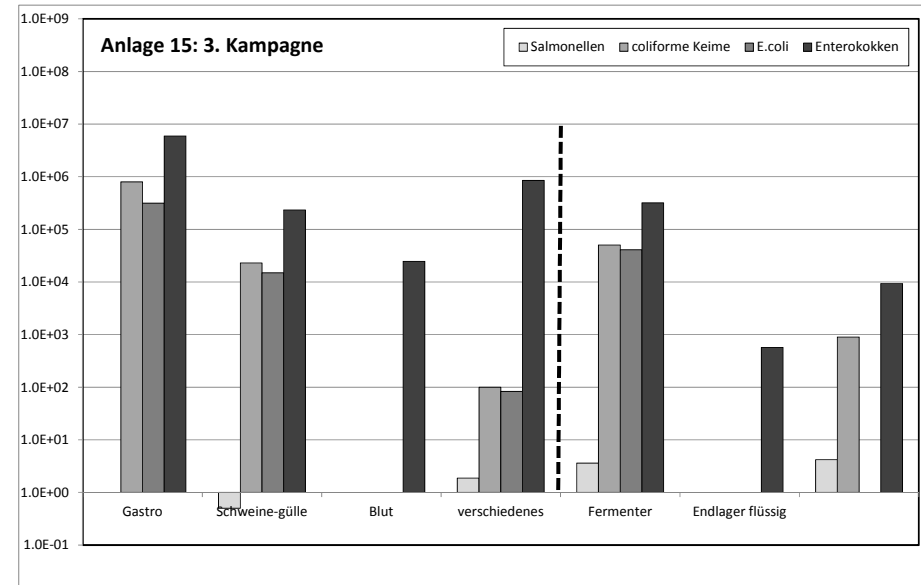


Fig. A14b. Keimpopulationen in den verschiedenen Inputmaterialien und Produkten der Anlage 15 (mesophil).
Kein Balken: Organismus nicht nachweisbar.



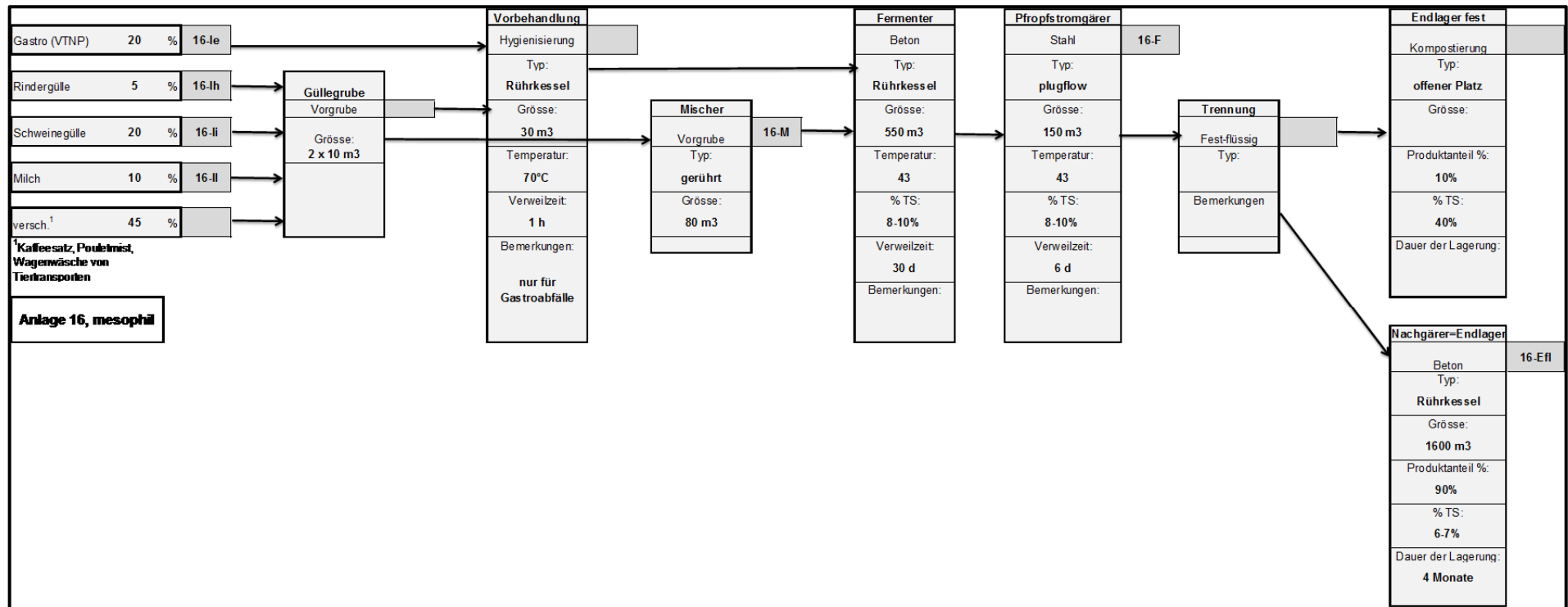


Fig. A15a. Beschreibung der Anlage 16 (mesophil).

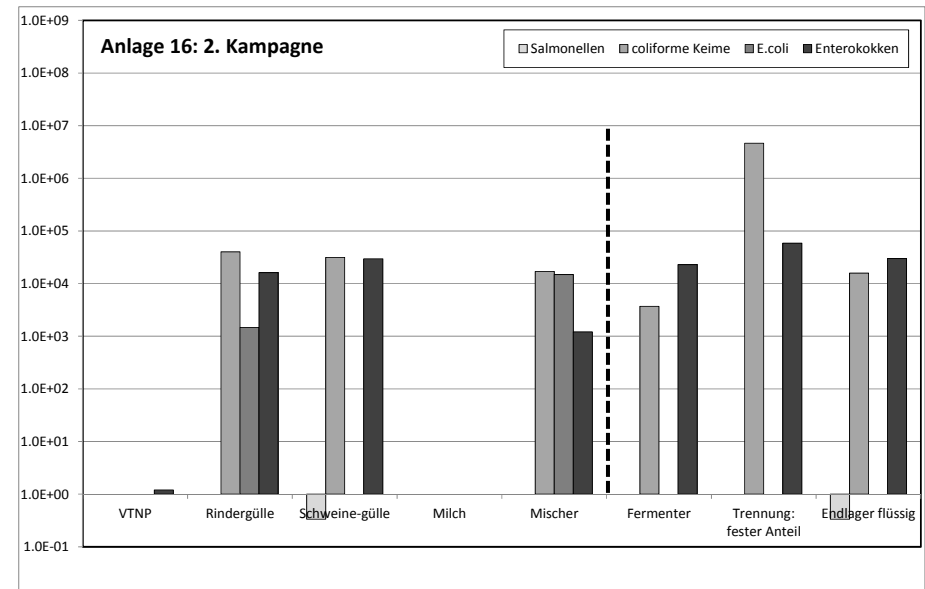
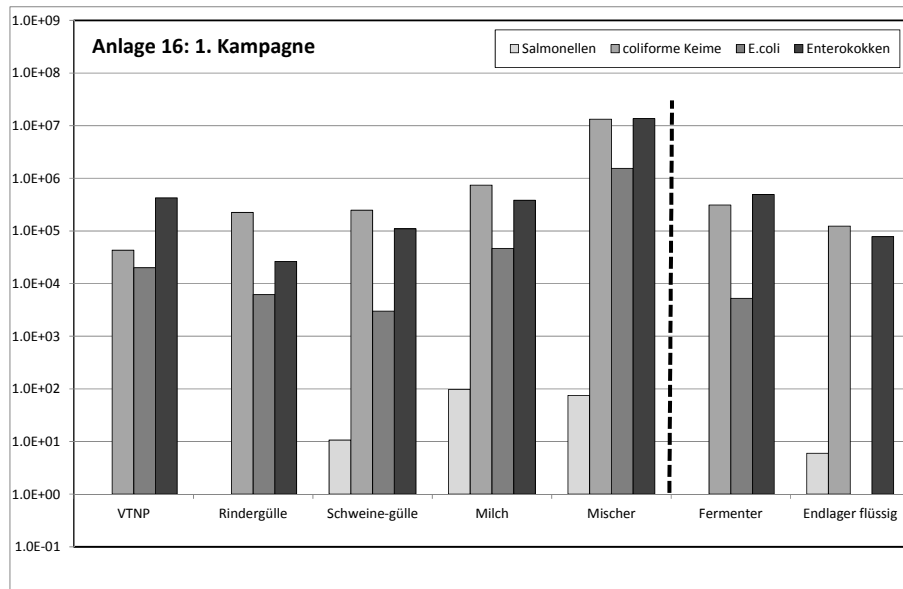
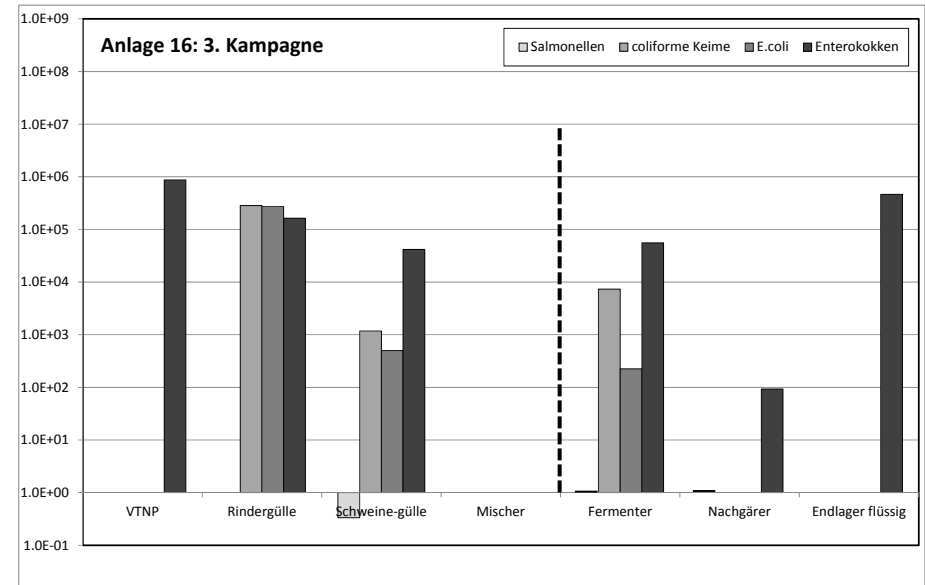


Fig. A15b. Keimpopulationen in den verschiedenen Inputmaterialien und Produkten der Anlage 16 (mesophil).
Kein Balken: Organismus nicht nachweisbar.



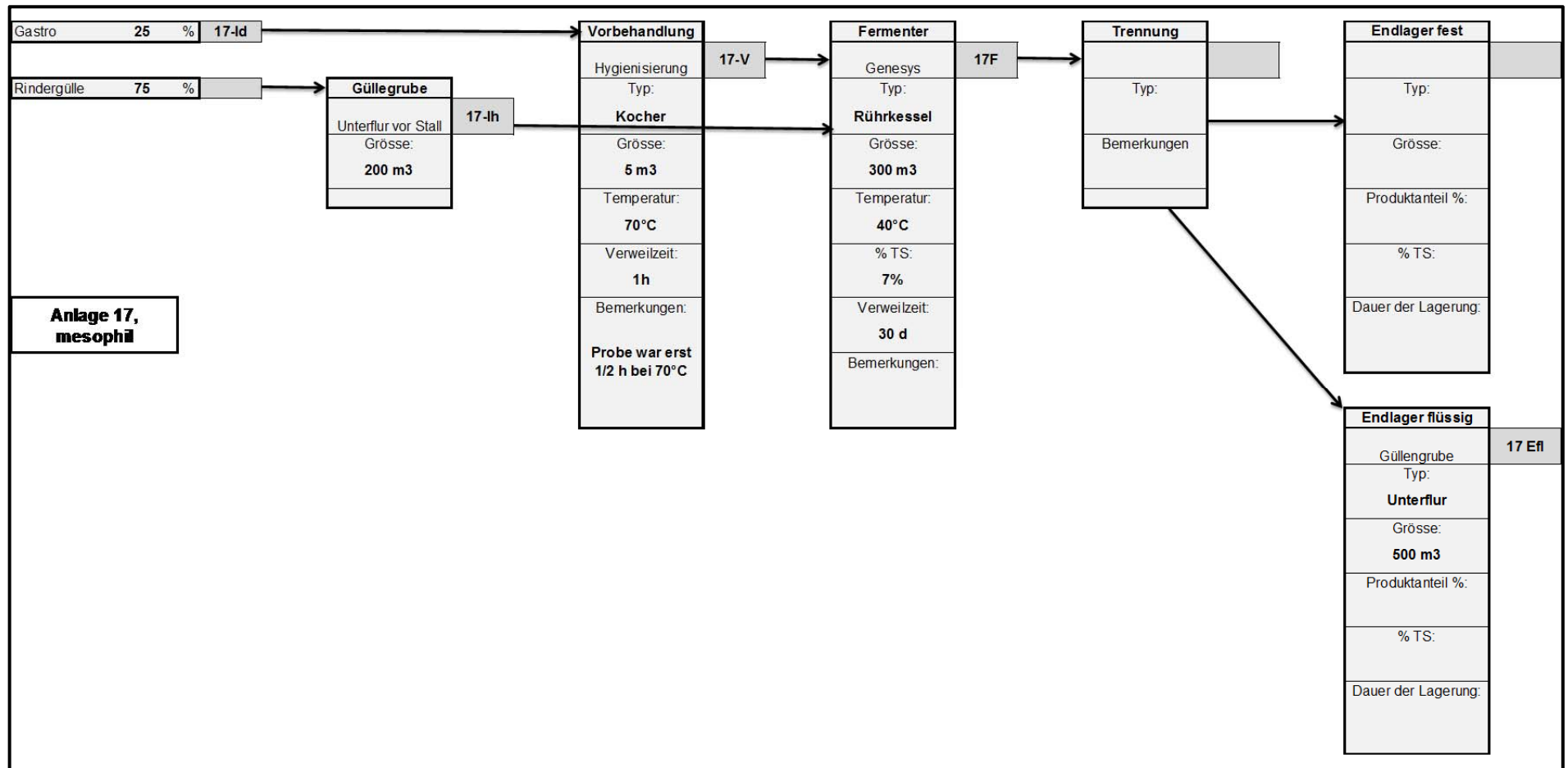


Fig. A16a. Beschreibung der Anlage 17 (mesophil).

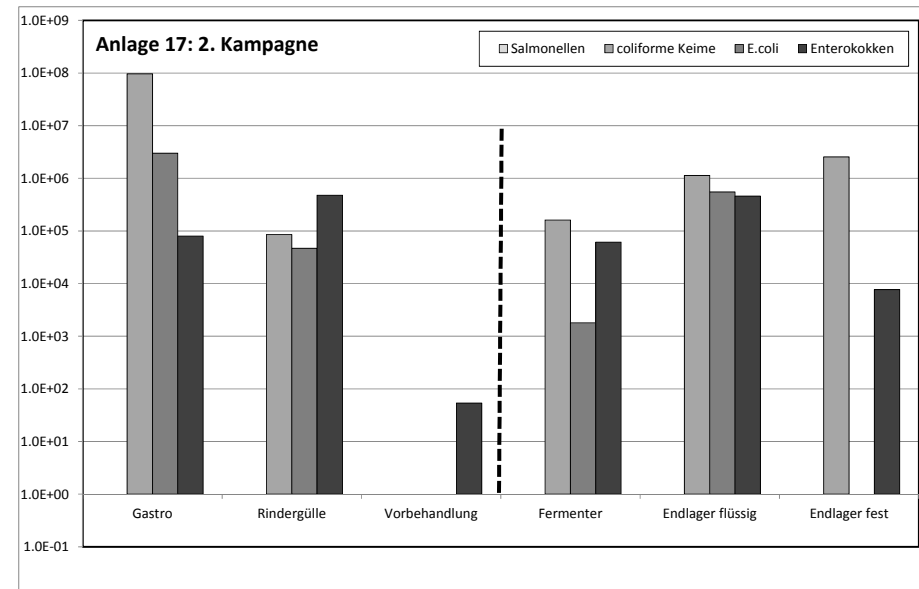
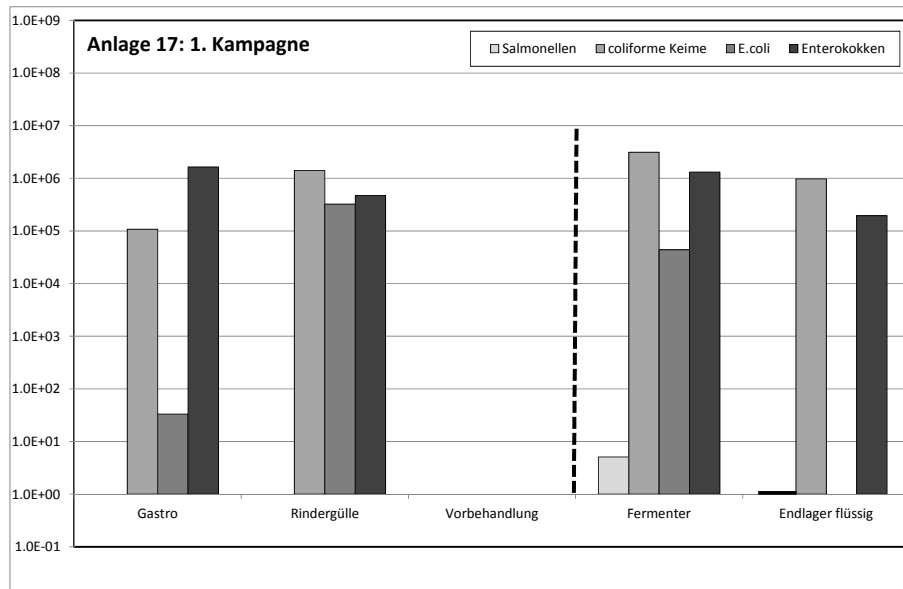
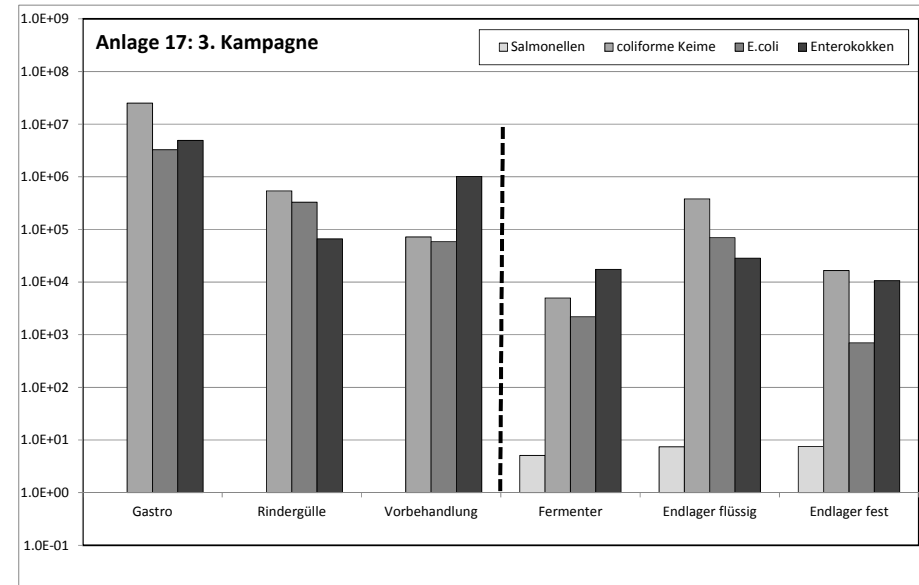


Fig. A16b. Keimpopulationen in den verschiedenen Inputmaterialien und Produkten der Anlage 17 (mesophil).
Kein Balken: Organismus nicht nachweisbar.



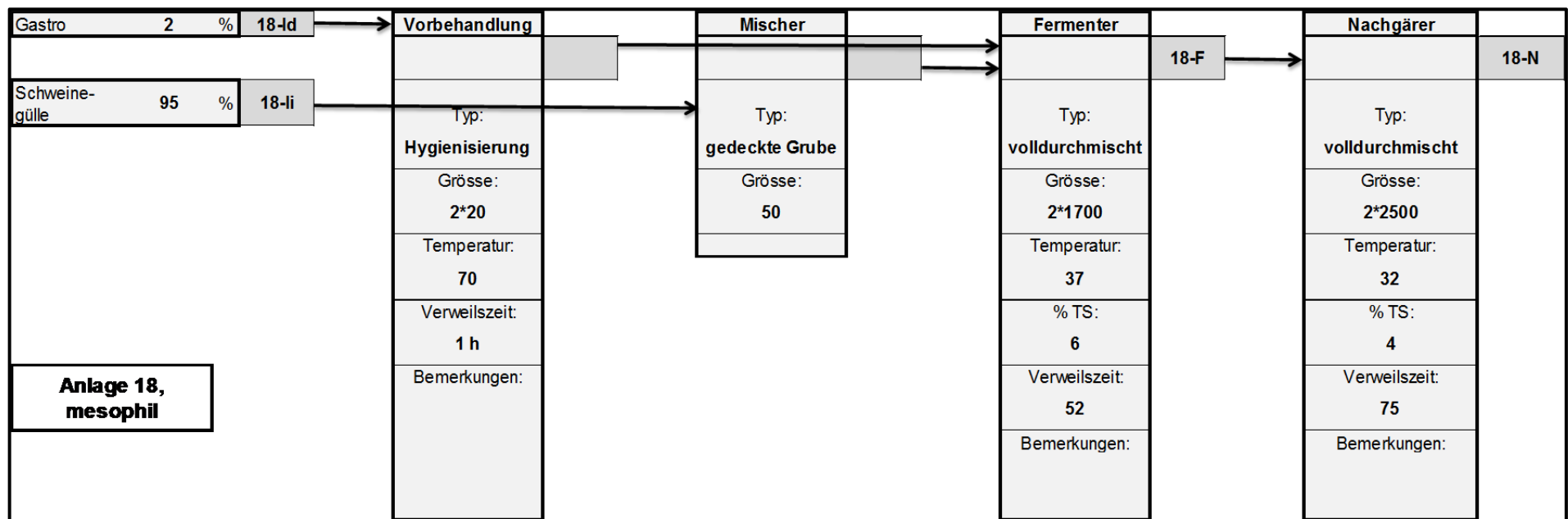


Fig. A17a. Beschreibung der Anlage 18 (mesophil).

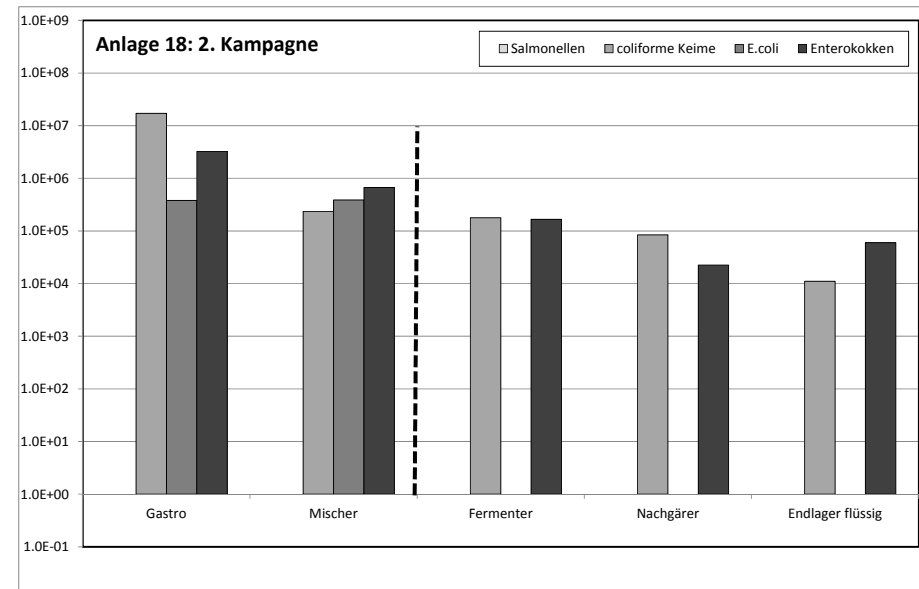
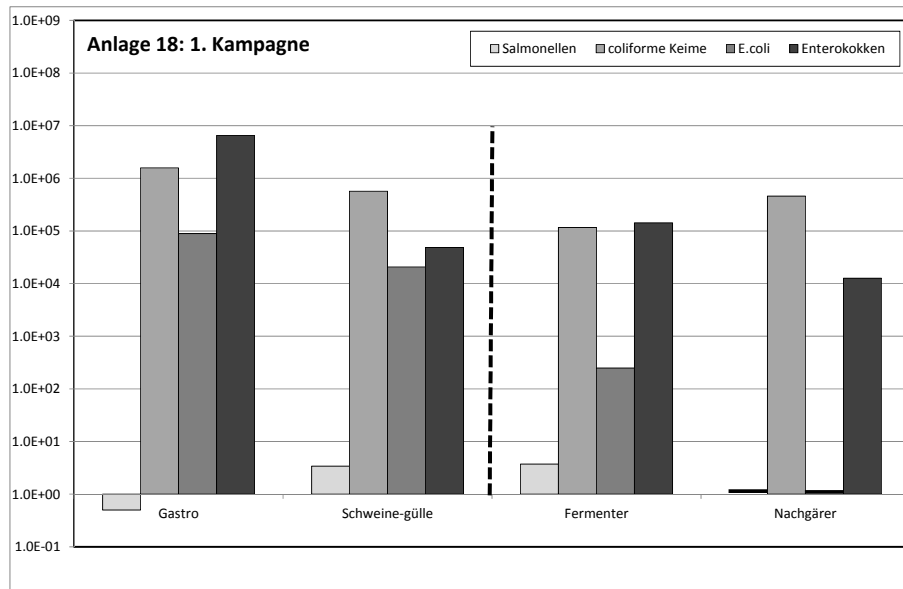
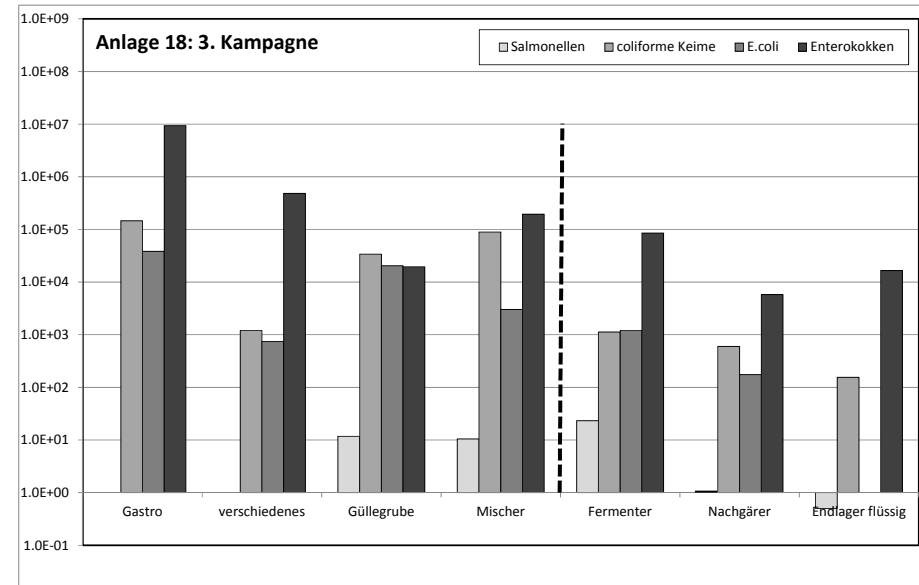


Fig. A17b. Keimpopulationen in den verschiedenen Inputmaterialien und Produkten der Anlage 18 (mesophil).
Kein Balken: Organismus nicht nachweisbar.



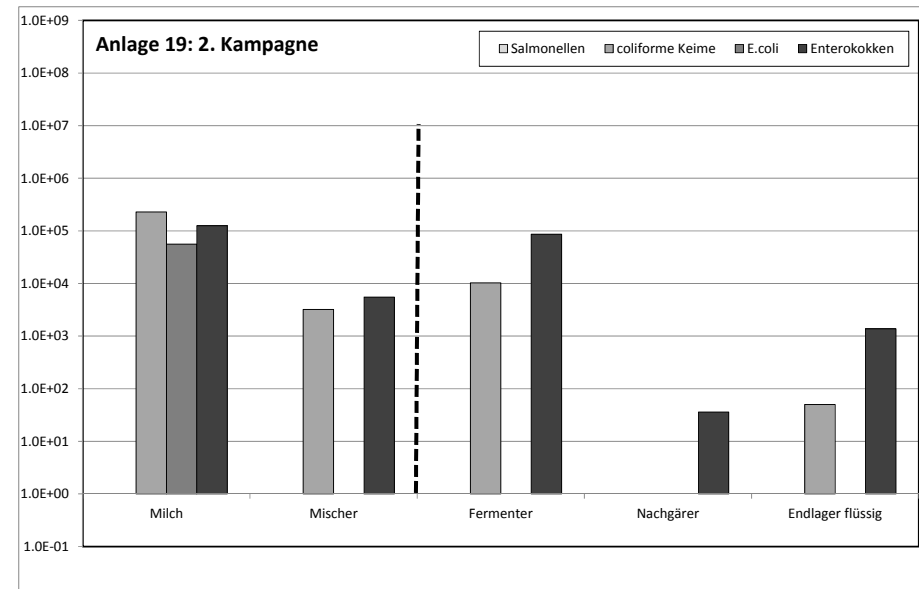
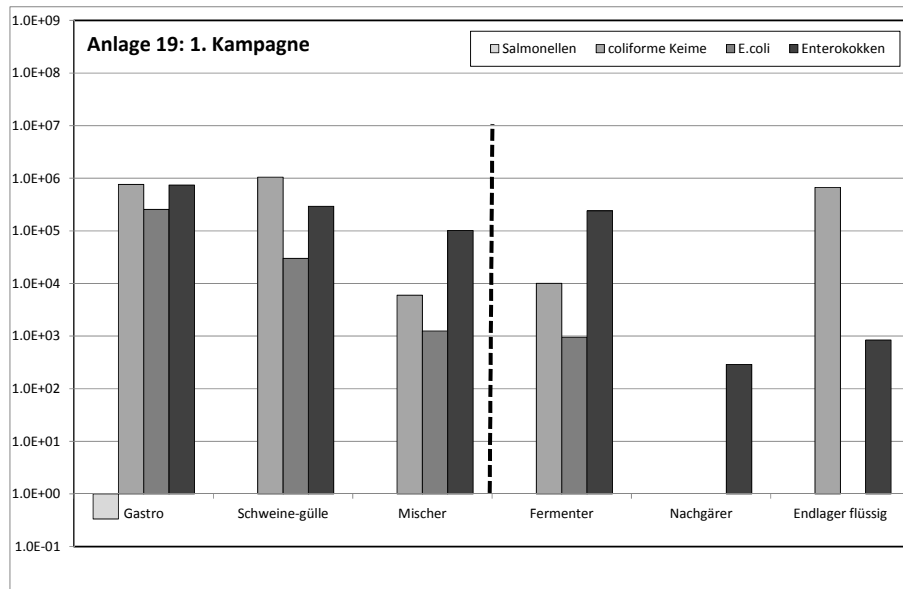
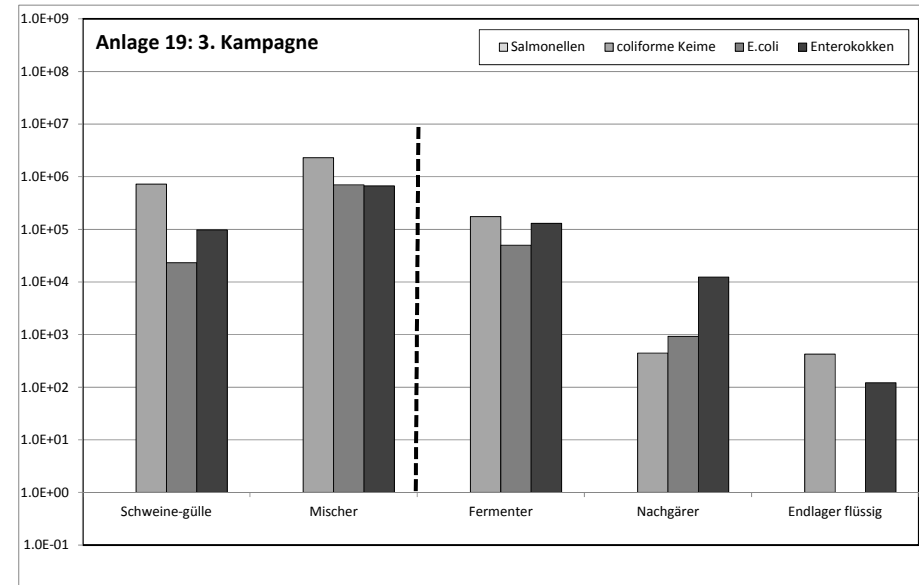


Fig. A18b. Keimpopulationen in den verschiedenen Inputmaterialien und Produkten der Anlage 19 (mesophil).
Kein Balken: Organismus nicht nachweisbar.



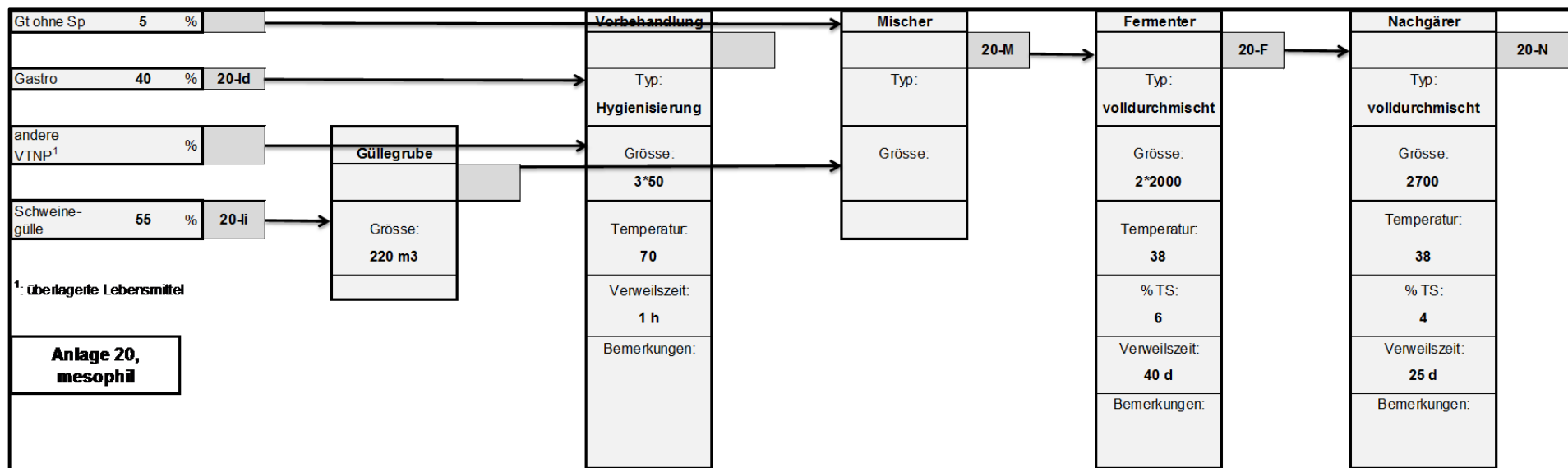


Fig. A19a. Beschreibung der Anlage 20 (mesophil).

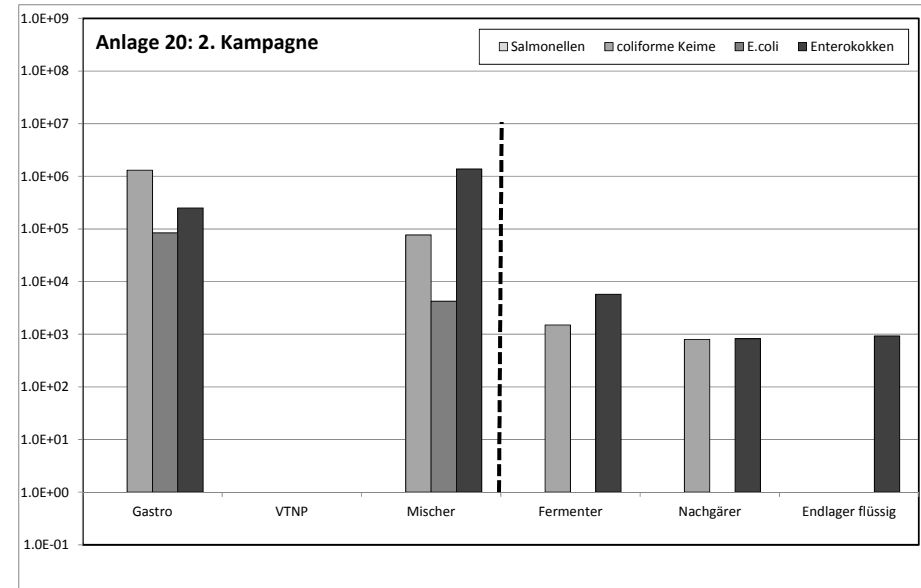
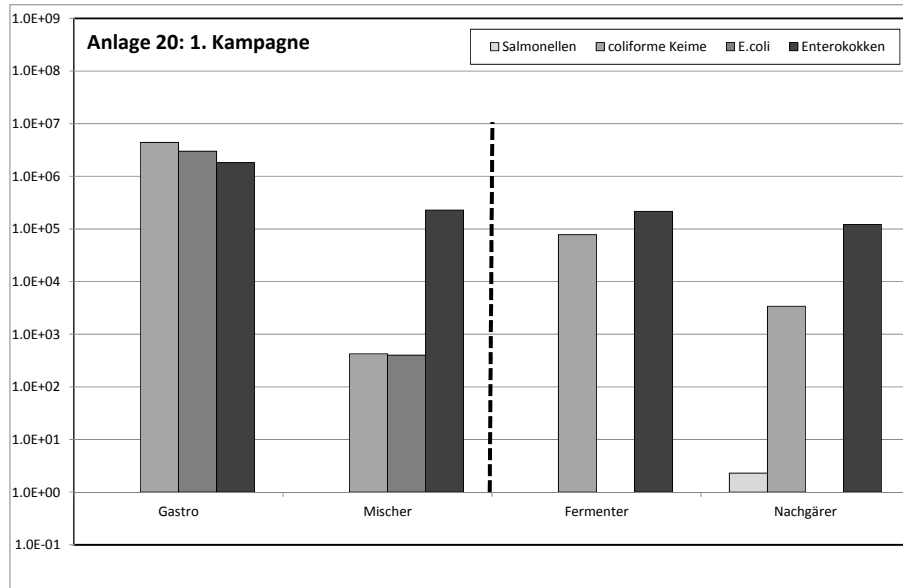
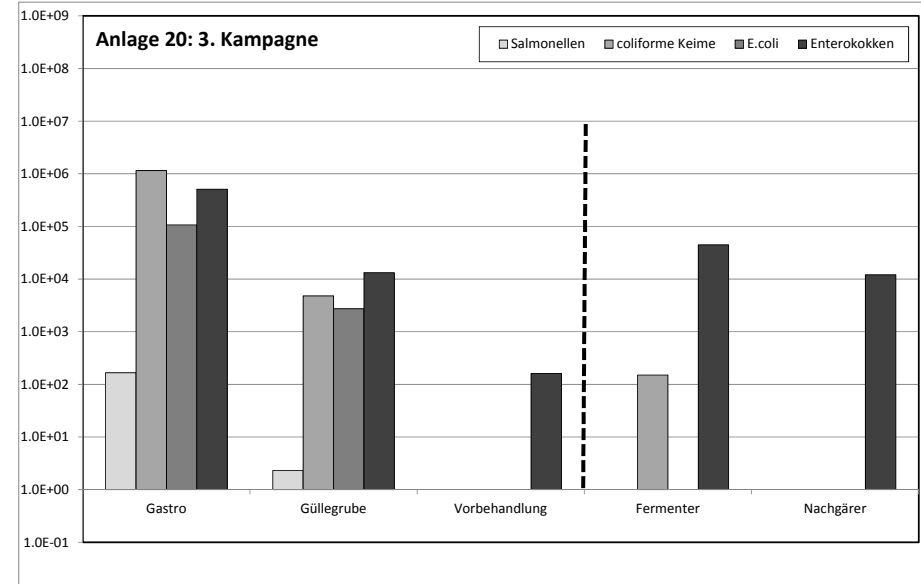


Fig. A19b. Keimpopulationen in den verschiedenen Inputmaterialien und Produkten der Anlage 20 (mesophil).
Kein Balken: Organismus nicht nachweisbar.



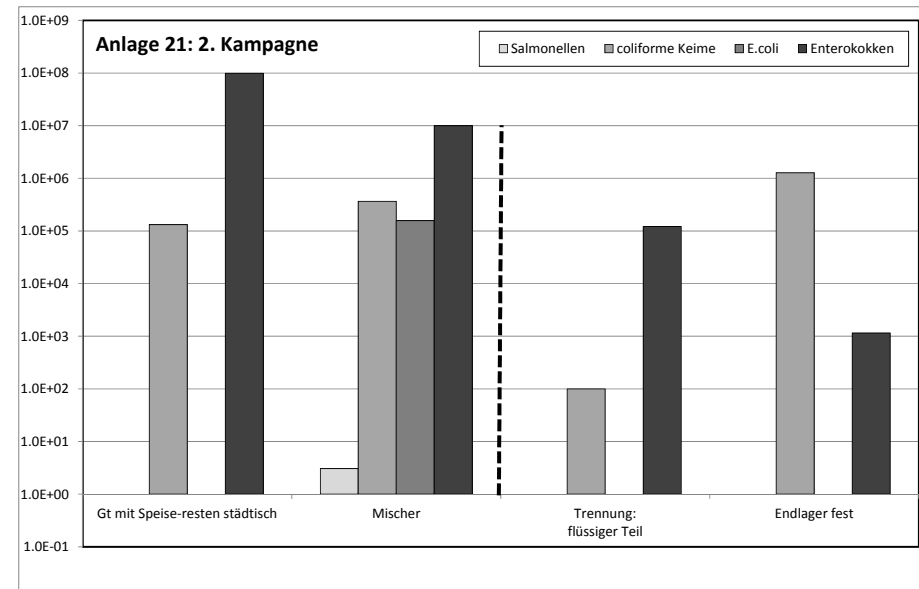
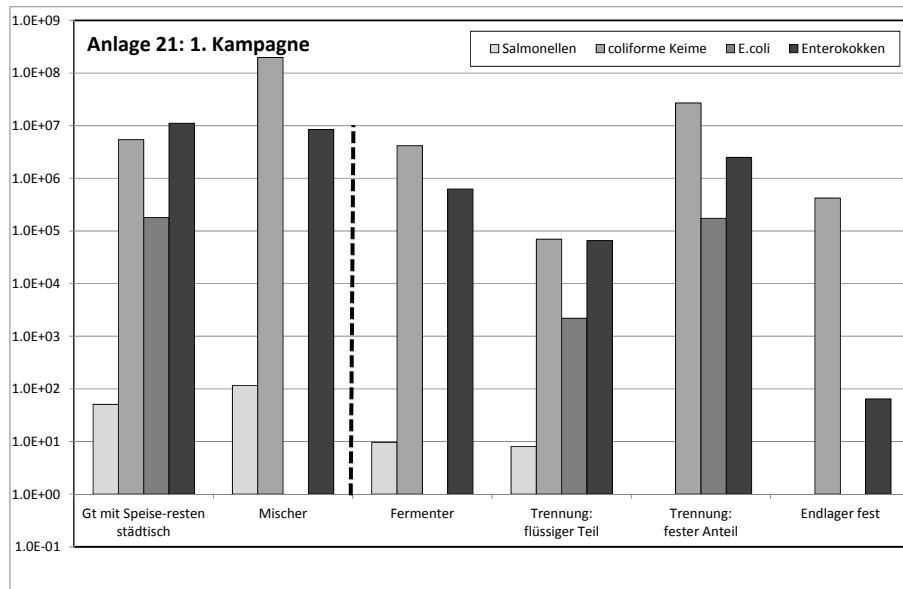


Fig. A20b. Keimpopulationen in den verschiedenen Inputmaterialien und Produkten der Anlage 21 (mesophil).
Kein Balken: Organismus nicht nachweisbar.

